

Министерство образования и науки Российской Федерации

**Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Тульский государственный университет»**

16+
ISSN 2071-6168

**ИЗВЕСТИЯ
ТУЛЬСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА**

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Выпуск 9

Часть 1

**Тула
Издательство ТулГУ
2017**

Известия Тульского государственного университета. Технические науки. Вып. 9: в 2 ч. Ч. 1. Тула: Изд-во ТулГУ, 2017. 550 с.

Рассматриваются научно-технические проблемы информатики, вычислительной техники и обработки информации, машиностроения и машиноведения, военно-специальных наук, электротехники.

Материалы предназначены для научных работников, преподавателей вузов, студентов и аспирантов, специализирующихся в проблематике технических наук.

Редакционный совет

М.В. ГРЯЗЕВ – председатель, **В.Д. КУХАРЬ** – зам. председателя, **В.В. ПРЕЙС** – главный редактор, **А.А. МАЛИКОВ** – отв. секретарь, **И.А. БАТАНИНА**, **О.И. БОРИСКИН**, **М.А. БЕРЕСТНЕВ**, **В.Н. ЕГОРОВ**, **О.Н. ПОНАМОРЕВА**, **Н.М. КАЧУРИН**, **В.М. ПЕТРОВИЧЕВ**.

Редакционная коллегия

О.И. Борискин (отв. редактор), С.Н. Ларин (зам. отв. редактора), Б.С. Яковлев (отв. секретарь), И.Л. Волчкевич, Р.А. Ковалев, М.Г. Кристаль, А.Д. Маляренко (Республика Беларусь), А.А. Сычугов, Б.С. Баласанян (Республика Армения), А.Н. Чуков.

Подписной индекс 27851
по Объединённому каталогу «Пресса России»

Сборник зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). ПИ № ФС77-61104 от 19 марта 2015 г.

«Известия Тульского государственного университета» входят в Перечень ведущих научных журналов и изданий, выпускаемых в Российской Федерации, в которых должны быть опубликованы научные результаты диссертаций на соискание учёной степени доктора наук.

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

УДК 004.274

О ПРИБЛИЖЕНИИ ПОТОКА СОБЫТИЙ К ПУАССОНОВСКОМУ В ЦИФРОВЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ РОБОТАМИ

Е.В. Ларкин, А.В. Богомолов, Д.В. Горбачев, М.А. Антонов

Проводится исследование потоков событий в робототехнических системах. Поскольку при пуассоновском характере потока математическое моделирование систем существенно упрощается, сформулирована цель получения простого критерия для определения степени приближения потока событий к пуассоновскому. Исследованы критерий Пирсона, регрессионный, корреляционный и параметрический критерии. Снова получен критерий, основанный на расчете функции ожидания. Рассмотрена система с «соревнованиями» и показано, что поток событий генерируемых системой, стремится к пуассоновскому при бесконечном увеличении количества «соревнующихся» субъектов.

Ключевые слова: поток событий, пуассоновский поток, полумарковский процесс, критерий Пирсона, корреляция, регрессия, функция ожидания, равномерный закон.

Цифровые системы управления роботами можно характеризовать, как системы, состояние которых характеризуются потоком событий. Так, например такими событиями может быть поступление заявок на обслуживание [1, 2], завершение интерпретации программы [3, 4], поток транзакций при дистанционном управлении [5, 6] и т.п.. Указанные события протекают в реальном времени, и интервал между событиями, для наблюдающего за системой субъекта, является случайной величиной. Одной из разновидностей потока является стационарный пуассоновский поток, который обладает следующими свойствами: стационарностью, отсутствием последствия, ординарностью [7].

Использование абстракции «Пуассоновский поток» позволяет существенно упростить выкладки в ряде приложений, в частности в теории массового обслуживания, поэтому при исследовании подобных систем

возникает вопрос о степени приближения плотности распределения времени между событиями $g(t)$ к плотности распределения интервалов в простейшем потоке, которая определяется экспоненциальным законом распределения.

Интервалы времени между событиями в пуассоновском потоке характеризуются экспоненциальным законом распределения [7]

$$f(t) = \frac{1}{T} \exp\left(-\frac{t}{T}\right), \quad (1)$$

где T - математическое ожидание экспоненциального закона;

Регрессионный критерий основан на оценке интеграла квадрата разности между анализируемым $g(t)$ и экспоненциальным (1) законами [8]:

$$\varepsilon_r = \int_0^{\infty} [g(t) - f(t)]^2 dt. \quad (2)$$

Очевидно, что если $g(t) \rightarrow f(t)$, то $\varepsilon_r \rightarrow 0$.

Пусть $g(t) = \delta(t - T)$, где $\delta(t - T)$ - смещенная δ -функция Дирака, для которой

$$\delta(t - T) = \begin{cases} 0 & \text{when } t \neq T; \\ \infty & \text{when } t = T; \end{cases} \quad \int_0^{\infty} \delta(t - T) dt = 1. \quad (3)$$

Тогда

$$\varepsilon_r = \int_0^{\infty} [\delta(t - T) - f(t)]^2 dt = \varepsilon_{r1} + \varepsilon_{r2} + \varepsilon_{r3}, \quad (4)$$

где

$$\varepsilon_{r1} = \int_0^{\infty} \delta^2(t - T) dt = \lim_{a \rightarrow 0} \int_{T-a}^{T+a} \left(\frac{1}{2a}\right)^2 dt = \infty;$$

$$\varepsilon_{r2} = -2 \int_0^{\infty} \delta(t - T) \cdot \frac{1}{T} \exp\left(-\frac{t}{T}\right) dt = -\frac{2}{eT};$$

$$\varepsilon_{r3} = \int_0^{\infty} \frac{1}{T^2} \exp\left(-\frac{2t}{T}\right) dt = \frac{1}{2T}.$$

Итак, критерий изменяется от 0 (поток без последействия) до ∞ (поток с жестко детерминированной связью между событиями).

В том случае, если временные интервалы между событиями определяются экспериментально, и плотность распределения $g(t)$ представляет собой статистический ряд вида

$$g(t) = \left(\begin{array}{cccc} t_0 \leq t < t_1 & \dots & t_{i-1} \leq t < t_i & \dots & t_{J-1} \leq t < t_J \\ n_1 & & n_i & & n_J \end{array} \right), \quad (5)$$

где n_i - количество результатов измерения, лежащих в интервале $t_{i-1} \leq t < t_i$, то для оценки близости плотности (3) и гистограммы (6) может быть использован критерий Пирсона [9], который в данном случае принимает вид

$$\chi^2 = \sum_{j=1}^J \frac{\left\{ T n_j - \left[\exp\left(-\frac{t_{j-1}}{T}\right) - \exp\left(-\frac{t_j}{T}\right) \right] \cdot \sum_{i=1}^J n_i \right\}^2}{T \left[\exp\left(-\frac{t_{j-1}}{T}\right) - \exp\left(-\frac{t_j}{T}\right) \right] \cdot \sum_{k=1}^K n_k} . \quad (6)$$

Критерий (7) достаточно громоздок и применим в ограниченном количестве случаев.

1. Корреляционный критерий

Корреляционный критерий имеет вид [10]

$$\varepsilon_c = \int_0^{\infty} g(t) \cdot \frac{1}{T} \exp\left(-\frac{t}{T}\right) dt . \quad (7)$$

Определим значение второго критерия для случаев $g(t) = \frac{1}{T} \exp\left(-\frac{t}{T}\right)$ и $g(t) = \delta(t - T)$.

В первом случае критерий достигает максимума:

$$\varepsilon_{c1} = \int_0^{\infty} \frac{1}{T} \exp\left(-\frac{t}{T}\right) \cdot \frac{1}{T} \exp\left(-\frac{t}{T}\right) dt = \frac{1}{2T} .$$

Во втором случае критерий достигает минимума:

$$\varepsilon_{c2} = \int_0^{\infty} \delta(t - T) \exp\left(-\frac{t}{T}\right) dt = \frac{1}{eT} .$$

Однако, если критерий - это индикатор отсутствия последствия, он должен быть безразмерным и укладываться в интервал $0 \leq \tilde{\varepsilon}_c \leq 1$. Нуль должен достигаться в первом случае (отсутствие последствия), единица должна достигаться во втором случае (детерминированная связь между событиями). Это происходит, если значение ε_c , рассчитанное как корреляция по зависимости (8), будет пересчитано по формуле

$$\tilde{\varepsilon}_c = \frac{e(1 - 2T\varepsilon_{\tilde{n}})}{e - 2} . \quad (8)$$

Критерий $\tilde{\varepsilon}_c$ изменяется в интервале $0 \leq \tilde{\varepsilon}_c \leq 1$.

2. Параметрические критерии

Простейший вариант параметрического критерия основан на следующем свойстве экспоненциальной плотности распределения [11]:

$$T = \sqrt{D} , \quad (9)$$

где D - дисперсия, определяемая по зависимости

$$D = \int_0^{\infty} \frac{(t-T)^2}{T} \exp\left(-\frac{t}{T}\right).$$

Очевидно, что подобными свойствами обладают многие плотности распределения, например, взвешенная пара вырожденных законов, $g(t) = 0,5\delta(t - \tau_1) + 0,5\delta(t - \tau_2)$, если $\tau_1 = 0$, $\tau_2 > 0$. Это затрудняет практическое использование зависимости (9).

Для установления более сложного критерия рассмотрим процесс генерации событий, как «соревнование», в котором участвуют два субъекта: внешний наблюдатель и генератор. Если в момент старта одновременно запускаются случайные процессы, характеризующие ременные интервалы между стартом и наблюдением и между двумя событиями, то «соревнование» может быть описано с помощью 2-параллельного полумарковского процесса [12, 13]

$$M = [A, h(t)], \quad (10)$$

где $A = \{a_{w1}, a_{w2}, a_{g1}, a_{g2}, \}$ - множество состояний; a_{w1} , a_{g1} - стартовые состояния; a_{w2} , a_{g2} - поглощающие состояния; $h(t)$ - полумарковская матрица;

$$h(t) = \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & w(t) \\ 0 & 0 \end{bmatrix} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \begin{bmatrix} 0 & g(t) \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \end{bmatrix}; \quad \mathbf{0} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}. \quad (11)$$

Рассмотрим ситуацию, когда первый субъект выигрывает «соревнование» в момент времени τ и ожидает, когда второй субъект достигнет финиша. Для определения времени ожидания по полумарковскому процессу (10) (рис. 1, а) может быть построен ординарный полумарковский процесс (рис. 1, б) вида

$$M' = [A', h'(t)], \quad (12)$$

где $A' = A \cup B$ - множество состояний; $A = \{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3\}$ - подмножество состояний, моделирующее начало и окончания блужданий по полумарковскому процессу; α_1 - стартовое состояние; α_2 - поглощающее состояние, моделирующее выигрыш второго субъекта; α_3 - поглощающее состояние, моделирующее окончание ожидания первым субъектом финиширования второго, проигравшего субъекта; $B = \{\beta_1, \dots, \beta_i, \dots\}$ - бесконечное множество состояний, задающих временные интервалы для различных ситуаций завершения дистанции вторым, проигравшим, субъектом; $h'(t) = \{h'_{m,n}(t)\}$ - полумарковская матрица, задающая временные интервалы процесса.

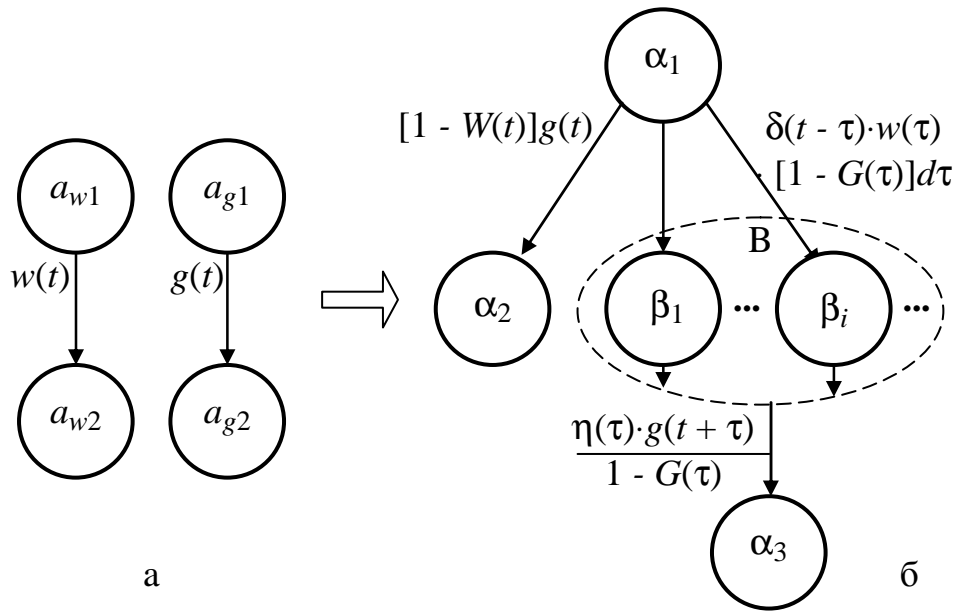


Рис. 1. К расчету времени ожидания

Элементы $h'_{m,n}(t)$ определяются следующим образом:

$h'_{1,2}(t)$ определяется как взвешенная плотность распределения времени финиширования второго субъекта, если он является «победителем» «соревнования»,

$$h'_{1,2}(t) = g(t)[1 - W(t)], \quad (13)$$

где $W(t) = \int_0^t w(\theta)d\theta$ - функция распределения; θ - вспомогательная переменная;

$h'_{1,2+i}(t)$, $i = 1, 2, \dots$, определяются как взвешенные плотности распределения времени финиширования первого субъекта в точности во время τ , если он является «победителем» «соревнования» и ожидает второго субъекта;

$$h'_{1,2+i}(t) = \delta(t - \tau) \cdot w(\tau)[1 - G(\tau)]d\tau, \quad (14)$$

где $\delta(t - \tau)$ - вырожденный закон распределения, определяющий время τ , финиширования второго субъекта; $G(t) = \int_0^t g(\theta)d\theta$; $w(\tau)[1 - G(\tau)]d\tau$ - вероятность финиширования первого субъекта в точности во время τ , если он является «победителем» «соревнования»;

$$\frac{\eta(t) \cdot g(t + \tau)}{1 - G(\tau)},$$

где $\eta(t)$ - единичная функция Хевисайда - плотность распределения времени пребывания полумарковского процесса (12) в состоянии В, которая получается путем отсечения от смещенной плотности $g(t + \tau)$ значений с отрицательным аргументом.

Таким образом, вероятность попадания процесса в подмножество В равна $p_{\alpha_0\beta} = \int_0^{\infty} [1 - G(\tau)]w(\tau)d\tau = \int_0^{\infty} W(t)g(t)dt$. Взвешенная плотность распределения времени ожидания первым субъектом финиширования второго субъекта равна $h_{w \rightarrow g}(t) = \eta(t) \int_0^{\infty} w(\tau)g(t + \tau)d\tau$. Чистая плотность распределения определяется следующим образом:

$$f_{w \rightarrow g}(t) = \frac{\eta(t) \int_0^{\infty} w(\tau)g(t + \tau)d\tau}{\int_0^{\infty} W(t)dG(t)}. \quad (15)$$

Следует отметить, что операция (15) не является коммутативной, т.е. в общем случае

$$f_{g \rightarrow w}(t) = \frac{\eta(t) \int_0^{\infty} g(\tau)w(t + \tau)d\tau}{\int_0^{\infty} G(t)dW(t)} \neq f_{w \rightarrow g}(t)$$

Рассмотрим поведение $f_{w \rightarrow g}(t)$ для двух видов функции $g(t)$: когда указанная функция описывает поток событий без последствия, т.е. $g(t) = \frac{1}{T} \exp\left(-\frac{t}{T}\right)$, и когда поток событий является строго детерминированным, т.е. $g(t) = \delta(t - T)$.

Выражение (15) для первого случая принимает вид:

$$f_{w \rightarrow g}(t) = \frac{\eta(t) \int_0^{\infty} w(\tau) \frac{1}{T} \exp\left[-\frac{t + \tau}{T}\right] d\tau}{1 - \int_{t=0}^{\infty} \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{T}\right)\right] dW(t)} = \frac{1}{T} \exp\left(-\frac{t}{T}\right). \quad (16)$$

Таким образом, плотность $f_{w \rightarrow g}(t)$ отражает свойство отсутствия последствия в строго марковских процессах с непрерывным временем, которое может быть сформулировано следующим образом. Если плотность распределения времени между любыми двумя событиями в системе рас-

пределена по экспоненциальному закону, то для внешнего наблюдателя время, оставшееся до наступления очередного события, будет также распределено по экспоненциальному закону, независимо от момента начала наблюдения.

Выражение (15) для второго случая принимает вид

$$f_{w \rightarrow g}(t) = \frac{\eta(t)w(T_w - t)}{W(T_w)}. \quad (17)$$

Пусть $w(t)$ имеет область определения $T_{w \min} \leq \arg w(t) \leq T_{w \max}$ и математическое ожидание $T_{w \min} \leq T_w \leq T_{w \max}$. В зависимости от местоположения $w(t)$ и $g(t)$ на оси времени, возможны следующие ситуации:

а) $T < T_{w \min}$. В этой ситуации выражение (5) не имеет смысла.

б) $T_{w \min} \leq T \leq T_{w \max}$. В этой ситуации плотность распределения выражается зависимостью (17), область определения $f_{w \rightarrow g}(t)$ определяется как $0 \leq \arg[f_{w \rightarrow g}(t)] \leq T - T_{w \min}$, и $\int_0^{\infty} t f_{w \rightarrow g}(t) dt \leq T$.

в) $T > T_{w \max}$. В этой ситуации $f_{w \rightarrow g}(t) = w(T - t)$, $T - T_{w \max} \leq \arg[f_{w \rightarrow g}(t)] \leq T - T_{w \min}$, и $\int_0^{\infty} t f_{w \rightarrow g}(t) dt \leq T$.

Таким образом, математическое ожидание функции $f_{w \rightarrow g}(t)$ для пуассоновского потока событий остается неизменным, а для детерминированного потока событий уменьшается, и это уменьшение определяется видом функции $w(\tau)$. Это обстоятельство позволяет определить вид простого критерия, основанного на использовании математического ожидания плотности распределения ожидания.

Пусть плотность распределения времени наблюдения определяется вырожденным законом распределения с математическим ожиданием, равным T , т.е. $w(t) = \delta(t - T)$ (соответствует детерминированному потоку событий). Для этого случая плотность распределения времени ожидания δ -функцией Дирака события, когда завершится событие $g(t)$, определяется по зависимости

$$f_{\delta \rightarrow g}(t) = \frac{\eta(t) \cdot g(t + T)}{\int_T^{\infty} g(t) dt}. \quad (18)$$

Математическое ожидание (18) имеет вид

$$T_{\delta \rightarrow g} = \int_0^{\infty} t \frac{g(t + T)}{\int_T^{\infty} g(t) dt} dt. \quad (19)$$

Критерий, основанный на определении времени ожидания, имеет вид

$$\varepsilon_w = \left(\frac{T - T_{\delta \rightarrow g}}{T} \right)^2, \quad (20)$$

где T - математическое ожидание анализируемой плотности распределения времени между соседними событиями; $T_{\delta \rightarrow g}$ - математическое ожидание плотности распределения $f_{\delta \rightarrow g}(t)$, рассчитываемое по зависимости (18).

Для экспоненциального закона

$$\varepsilon_w = \left(\frac{T - T_{\delta \rightarrow g}}{T} \right)^2 = \left(\frac{T - T}{T} \right)^2 = 0. \quad (21)$$

Это означает отсутствие последействия. Для строго детерминированной связи между событиями, выражаемой δ -функцией Дирака $g(t) = \delta(t - T)$,

$$f_{\delta \rightarrow g}(t) = \delta(t), \text{ и } \varepsilon_w = \left(\frac{T - 0}{T} \right)^2 = 1. \quad (22)$$

Это означает детерминированную связь между событиями, или «абсолютное последействие».

Исследуем поведение критерия $\sqrt{\varepsilon_w}$ функции. Для этого определим математическое ожидание функции $g(t)$ в виде (рис. 2)

$$\begin{aligned} \int_0^{\infty} tg(t)dt &= \int_0^T tg(t)dt + \int_0^{\infty} tg(t+T)dtT + T \int_0^{\infty} g(t+T)dt = \\ &= p_{1g}T_{1g} + p_{2g}T_{\delta \rightarrow g} + p_{2g}T = T, \end{aligned} \quad (23)$$

где $p_{1g} = \int_0^T g(t)dt$; $p_{2g} = \int_T^{\infty} g(t)dt$.

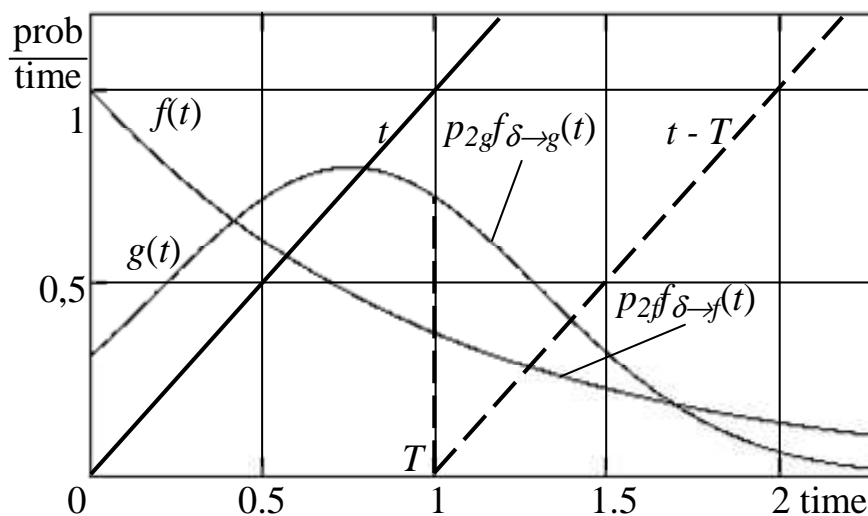


Рис. 2. К расчету математического ожидания

Очевидно, что в (23) $T_2 = T_{\delta \rightarrow g}$.

Если $g(t) = f(t)$, то из уравнения

$$p_{1f}T_{1f} + p_{2f}T_{\delta \rightarrow f} + p_{2f}T = T, \quad (24)$$

где $p_{1f} = \frac{e-1}{e}$; $p_{2f} = \frac{1}{e}$; $T_{1f} = T \frac{e-2}{e-1}$,

следует, что

$$T_{\delta \rightarrow f} = T. \quad (25)$$

Равенство (25) подтверждает справедливость зависимостей (16) и (21).

При $g(t) \neq f(t)$ из (23) следует

$$T_{\delta \rightarrow g} = \frac{p_{1g}(T - T_{1g})}{1 - p_{1g}}. \quad (26)$$

Значение $T_{\delta \rightarrow g}$ в зависимости от соотношения значений T_{1g} и p_{1g} может быть как $T_{\delta \rightarrow g} > T$, так и $T_{\delta \rightarrow g} < T$ (случай $T_{\delta \rightarrow g} = T$ представлен зависимостями (24), (25)). Очевидно, что первые два случая означают, что поток не является пуассоновским.

Заключение

Итак, в настоящей работе проведены исследования критериев, по которым может производиться оценка степени приближения потока событий к пуассоновскому потоку. Из существующих выделен критерий, основанный на оценке времени ожидания, использование которого позволяет существенно сократить вычислительную сложность алгоритмов оценки степени приближения потока событий к пуассоновскому.

Перспектива исследований в этом направлении может быть связана с практическим использованием критерия для оценки свойств потоков событий и оценкой ошибок, к которым приводит замена непуассоновских потоков на пуассоновские при моделировании систем.

Список литературы

1. Sundarapandian V. Queueing Theory: Probability, Statistics and Queueing Theory. PHI Learning. New Delhi. 2009.
2. Gross D., Harris C.M. Fundamentals of Queue Theory. John Wiley & Sons N.Y. 1974.
3. Larkin E.V., Ivutin A.N. Dispatching in Embedded Systems //2016 5th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO). 12-16 June 2016, Bar, Montenegro – IEEE, 2016. P. 215 - 217.
4. Larkin E., Ivutin A., Esikov D. Recursive Approach for Evaluation of Time Intervals between Transactions in Polling Procedure // 8-th International Conference on Computer and Automation Engineering (ICCAE 2016). March 3-4, 2016. Melbourne, Australia – MATEC Web of Conferences, 56 (2016).

5. Interactive generator of commands / E.V. Larkin, A.N. Ivutin, V.V. Kotov, A.N. Privalov // 7-th International Conference ICSI-2016. Bali, Indonesia, June 25 - 30. Proceedings. Part 2. Lecture Notes in Computer Science. LNCS Sublibrary: SL1 – Theoretical Computer Science and General Issues Springer, 2016. P. 601 - 609.

6. Larkin E.V., Privalov A.N. Modeling of dialogue regimes of distance robot control // Proceedings of 5-th International Workshop on Mathematical Models and their Applications Krasnoyarsk, Russia, November 7-9, 2016. P. 92 - 103.

7. Markov A.A. Extension of the law of large numbers to dependent quantities, *Izvestiia Fiz.-Matem. Obsch. Kazan Univ.*, (2-nd Ser.), 1906. P. 135–156.

8. Boos D.D. Stefanski L.A. Essential Statistical Inference. Theory and methods. N.Y., Springer Verlag. 2013. 568 p.

9. Draper N.R., Smith H. Applied Regression Analysis 1998 by John Wiley & sons, Inc. 736 p.

10. Rank M.K. Correlation Methods. Published by Charles Griffin & Company, London. 1955. 196 p.

11. Ventsel E.S. Probability theory. M.: Mir Publisher, 1986. 86 p.

12. Ivutin A.N, Larkin E.V. Simulation of Concurrent Games // Bulletin of the South Ural State University. Series: Mathematical Modelling, Programming and Computer Software. Chelyabinsk, 2015. Vol. 8. №2. P. 43 - 54.

13. Simulation of Relay-races / E.V. Larkin, A.N. Ivutin, V.V. Kotov, A.N. Privalov // Bulletin of the South Ural State University. Mathematical Modelling, Programming & Computer Software. 2016. Vol. 9. No 4. P. 117 - 128.

14. Grigelionis B. On the convergence of sums of random step processes to a Poisson process. *Theory Probab. Appl.* 1963. P. 177 - 182.

Ларкин Евгений Васильевич, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой, elarkin@mail.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет,

Богомолов Алексей Валерьевич, д-р техн. наук, проф., elarkin@mail.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет,

Горбачев Дмитрий Викторович, д-р физ.-мат. наук, проф., elarkin@mail.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет,

Антонов Максим Александрович, магистрант, elarkin@mail.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет

*ABOUT APPROACH OF THE TRANSACTIONS FLOW
TO POISSON ONE IN ROBOT CONTROL SYSTEMS*

E.V. Larkin, A.V. Bogomolov, D.V. Gorbachev, M.A. Antonov

In this paper, we investigate the flow of events in robotic systems. Since the mathematical simulation of the systems under the Poisson character of the flow is essentially simplified, the goal is to obtain a simple criterion for determining the degree of approximation of the flow of events to a Poisson flow. Pearson's criterion, regression, correlation and parametric criteria were studied. Again, a criterion based on the calculation of the waiting function was obtained. A system with "competitions" is investigated and it is shown that the flow of events generated by the system tends to Poisson with an infinite increase in the number of "competing" subjects.

Key words: event flow, Poisson flow, semi-Markovian process, Pearson's criterion, correlation, regression, expectation function, uniform law

Larkin Evgeniy Vasilievich, doctor of technical sciences, professor, head of chair, elarkin@mail.ru, Russia, Tula, Tula State University,

Bogomolov Alexey Valerievich, doctor of technical sciences, professor, elarkin@mail.ru, Russia, Tula, Tula State University,

Gorbachev Dmitry Viktorovich, doctor of technical sciences, professor, elarkin@mail.ru, Russia, Tula, Tula State University,

Antonov Maxim Aleksandrovich, master, elarkin@mail.ru, Russia, Tula, Tula State University

УДК 004.932

ФОРМИРОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ НА ПРИЕМНИКЕ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Т.А. Акименко, Е.В. Филиппова

Рассматривается модель формирования тепловой картины сцены, которая должна учитывать: особенности объекта наблюдения как источника сигнала; передачу сигналов через физические элементы системы тепловизионного изображения.

Ключевые слова: тепловой приемник, излучение, зрачок объектива, энергетическая освещенность.

Формирование тепловой картины наблюдаемой сцены с проверкой качества полученных тепловых изображений является одним из важных этапов технологического процесса, определяющих качество тепловизионной системы наблюдения. Управление этим этапом связано с разработкой математической модели процесса сканирования сцены, которая должна

учитывать: особенности объекта наблюдения, как источника сигнала; прохождение сигнала через физические элементы тепловизионной системы, производящие обработку сигнала на оптической, фотоэлектронной и электронной стадиях, что определяет конечные параметры сигнала и его соответствие требованиям, предъявляемым к тепловым информационно-измерительным системам [1-6].

Качество формируемого сигнала в значительной мере определяется освещенностью плоскости расположения чувствительных элементов приемника теплового излучения. Оценим неравномерность уровня энергетической освещенности чувствительных ячеек по площади приемника теплового излучения. Определим энергетическую освещенность ячейки приемника теплового излучения $E_{k'}$ (рис. 1).

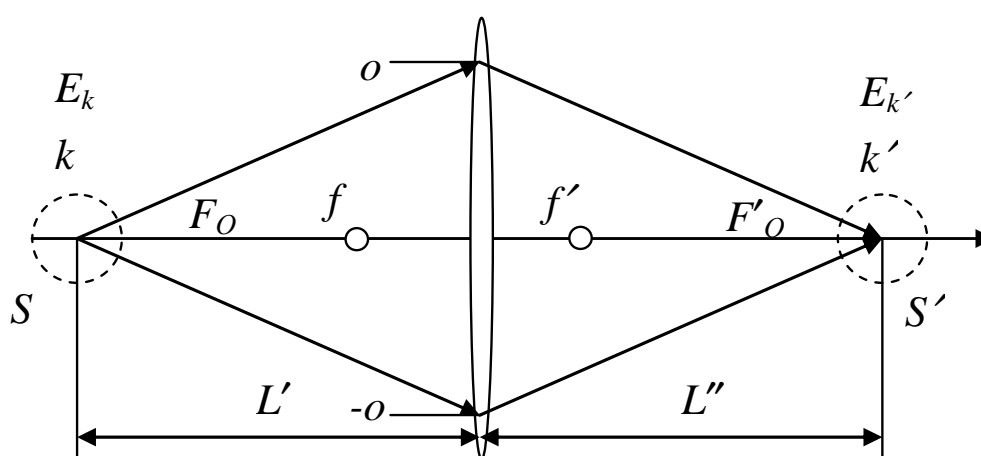


Рис. 1. Энергетическая освещенность чувствительной ячейки приемника теплового излучения

Рассмотрим элементарный участок приемника излучения преобразователя S' , находящийся на оптической оси системы. С учетом потерь в объективе лучистый поток F'_o

$$F_o = \kappa_o F'_o, \quad (1)$$

где κ_o - коэффициент пропускания оптической системы, $0 \leq \kappa_o \leq 1$.

Энергетическая освещенность

$$E_{k'} = \frac{\kappa_o F_o}{S'}. \quad (2)$$

Обозначим

$$k_o^2 = \frac{S}{S'}, \quad (3)$$

где k_o - кратность объектива.

Поток излучения Φ_O может быть выражен через энергетическую освещенность входного зрачка объектива $E_{зр}$ с учетом того, что он меняется мало, а источник излучения находится на главной оптической оси, перпендикулярной касательной плоскости к передней поверхности объектива в ее центральной точке,

$$F_O = \pi o^2 E_{зр},$$

где o - радиус входного зрачка объектива.

Пусть известны энергетическая сила света I (сила излучения) и энергетическая яркость B площадки Δ_s . Тогда

$$E_{зр} = \frac{I}{L'^2},$$

где L' - передний отрезок объектива.

Так как $I = BS$, то

$$E_{зр} = \frac{BS}{L'^2}; F_O = \frac{\pi o^2 E_{зр} \Delta_s}{L'^2},$$

где B - энергетическая яркость участка S ; I - энергетическая сила света.

С учетом кратности объектива (3) энергетическая освещенность

$$E_{K'} = \frac{\pi o^2 BS \kappa_o}{L'^2 S'} = \frac{\pi o_d^2 B \kappa_o}{L'^2 k_o^2}. \quad (4)$$

Воспользуемся уравнением Гаусса:

$$\frac{f}{L'} + \frac{f'}{L''} = 1. \quad (5)$$

С учетом того, что отношение диаметра входного зрачка $2o$ к фокусному расстоянию, называется относительным отверстием $\frac{2o}{f}$ объектива, окончательно получаем

$$E_{k'} = \frac{E_{k'} \kappa_o}{4(1 + k_o)^2} \left(\frac{2o}{f} \right)^2. \quad (6)$$

где κ_o - коэффициент пропускания объектива, $0 \leq \kappa_o \leq 1$; $\frac{2o}{f}$ - относительное отверстие объектива; k_o - кратность объектива.

Найдем энергетическую освещенность по полю в плоскости расположения элементов, если известна энергетическая освещенность в центре поля. При этом рассматривается выходной зрачок объектива диаметром $2o'$ и расстояние от выходного зрачка до плоскости элементов также считается неизменным (рис. 2).

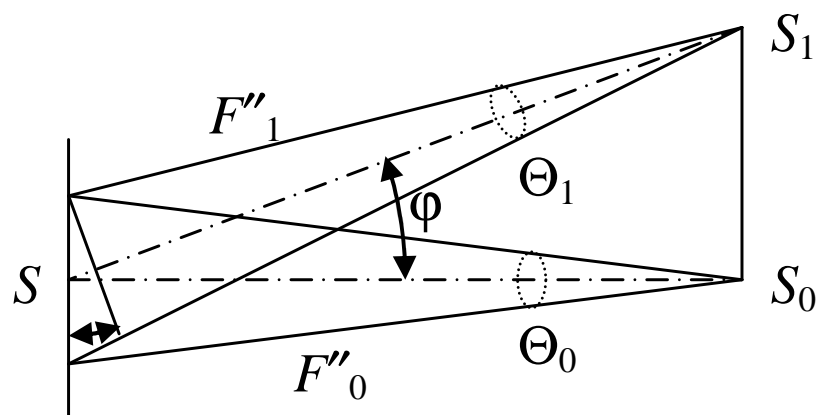


Рис. 2. Энергетическая освещенность ячеек, наблюдаемых под углом

Лучистый поток F''_0 распространяется внутри телесного угла Θ_0 и освещает ячейку площади чувствительного элемента S_0 , расположенную на главной оптической оси. Лучистый поток F''_1 распространяется внутри телесного угла Θ_1 и освещает ячейку площади чувствительного элемента S_1 , удаленную от главной оптической оси. Освещенности ячеек чувствительного элемента обратно пропорциональны квадратам расстояний, которые, в свою очередь, пропорциональны косинусу угла φ , под которым наблюдается ячейка S_1 . Площадь выходного зрачка наклонена к исходной площади под углом φ , так же, как и элемент. Следовательно, энергетическая освещенность чувствительного элемента в точке, удаленной от главной оптической оси, определяется по зависимости:

$$E_1 = E_0 \cos^4 \varphi, \quad (7)$$

где E_0 – энергетическая освещенность в центре; E_1 – энергетическая освещенность на периферии.

Очевидно, что при тестировании оптических систем тепловизионных приборов следует учитывать возможную неравномерность уровня энергетической освещенности чувствительных ячеек приемника излучения, которая может достигать 10...15 % по площади входных окон чувствительного прибора.

Рассмотрим сигнал энергетической освещенности в плоскости расположения чувствительных ячеек приемника теплового излучения. Пусть изображается точка k , которая проецируется в точку k' (рис. 3).

В идеальном случае изображение k' точки k можно представить в виде δ -функции Дирака с круговой симметрией :

$$\hat{w}_\delta(\rho) = \Delta_{E'} \cdot \delta(\rho), \quad (8)$$

где $\Delta_{E'}$ – перепад энергетической освещенности (динамический диапазон) в точке k' и ее окрестностях; $\delta(\rho)$ – δ -функция Дирака, имеющая вид

$$\delta(\rho) = \begin{cases} \infty & \text{при } \rho = 0, 0 \leq \gamma \leq 2\pi; \\ 0 & \text{при } \rho > 0, 0 \leq \gamma \leq 2\pi; \end{cases} \quad (9)$$

ρ и γ - линейная и угловая координаты полярной системы координат с центром в точке k' .

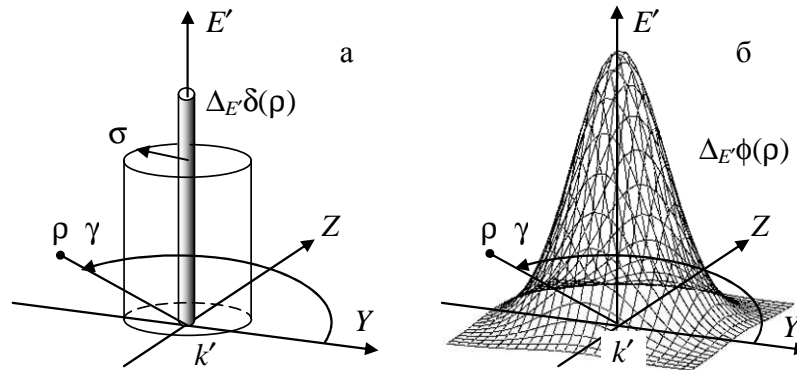


Рис. 3. Изображение точки в плоскости расположения приемника теплового излучения

В реальности изображение точки определяется кружком рассеяния объектива, который, в свою очередь, определяется такими параметрами, как глубина резкости δ_f и относительное отверстие $\frac{2o}{f}$ объектива [6]:

Диаметр кружка рассеяния 2σ находим по зависимости

$$2\sigma = \frac{\delta_f f}{2o}, \quad (10)$$

являющейся паспортной характеристикой объектива.

Отношение

$$\frac{\hat{w}_\delta(\rho)}{\Delta_{E'}} = w_\delta(\rho) = \delta(\rho) \quad (11)$$

представляет собой идеальный двумерный пространственный импульсный отклик фильтра, нормированный по объему, поскольку для δ -функции выполняется условие

$$\int_0^{\infty} \int_0^{2\pi} \delta(\rho) d\gamma d\rho = 1.$$

Для кружка рассеяния могут быть построены следующие модели пространственного импульсного отклика, нормированного по объему:

в виде цилиндра с диаметром 2σ (изображения кружка рассеяния с резкими границами);

в виде гауссиана (изображения кружка рассеяния с размытыми границами).

Цилиндр с диаметром 2σ , нормированный по объему, определяется зависимостью:

$$w_c(\rho) = \frac{1}{\pi\sigma^2} \begin{cases} 1 & \text{при } 0 \leq \rho \leq \sigma; \\ 0 & \text{при } \rho > \sigma; \end{cases} = \frac{1}{\pi\sigma^2} \begin{cases} 1 & \text{при } 0 \leq \sqrt{Y^2 + Z^2} \leq \sigma; \\ 0 & \text{при } \sqrt{Y^2 + Z^2} > \sigma; \end{cases} = w_c(Y, Z). \quad (12)$$

Гауссиан, нормированный по объему, вычисляется по зависимости:

$$w_G(\rho, \gamma) = \frac{1}{2\pi b_G^2} \exp\left(-\frac{\rho^2}{2b_G^2}\right) = \frac{1}{2\pi b_G^2} \exp\left(-\frac{Y^2 + Z^2}{2b_G^2}\right) = w_G(Y, Z), \quad (13)$$

где b_G - параметр, определяющий ширину функции Гаусса.

В данном случае следует воспользоваться методикой, основанной на минимуме квадрата расстояния между функциями.

Квадрат расстояния между функциями (12) и (13) находим в полярной системе координат ρ, γ в виде

$$\varepsilon_{Gc} = \int_0^\sigma \left[\frac{1}{2\pi b_G^2} \exp\left(-\frac{\rho^2}{2b_G^2}\right) - \frac{1}{\pi\sigma^2} \right]^2 \int_0^{2\pi} \rho d\gamma d\rho + \int_\sigma^\infty \left[\frac{1}{2\pi b_G^2} \exp\left(-\frac{\rho^2}{2b_G^2}\right) \right]^2 \int_0^{2\pi} \rho d\gamma d\rho. \quad (14)$$

Эквивалентные преобразования ε_{Gc} приводят к следующему математическому выражению:

$$\varepsilon_{Gc} = \frac{1}{4\pi b_G^2} - \frac{2}{\pi\sigma^2} \left[1 - \exp\left(-\frac{\sigma^2}{2b_G^2}\right) \right] + \left[\frac{1}{\pi\sigma^2} \right], \quad (15)$$

где b_G - искомый параметр, определяющий ширину функции Гаусса; σ - радиус кружка рассеяния.

Умножив обе части (15) на величину $\pi\sigma^2 \neq 0$, получим

$$\pi\sigma\varepsilon_{Gc} = \frac{\zeta^2}{4} + 2 \exp\left(-\frac{\zeta^2}{2}\right) - 1 \rightarrow \min_\zeta, \quad (16)$$

где $\zeta = \frac{\sigma}{b_G}$.

Минимум функции $\pi\sigma\varepsilon_{Gc}$ достигается, когда

$$\frac{d(\pi\sigma\varepsilon_{Gc})}{d\zeta} = 0; \quad \frac{d^2(\pi\sigma\varepsilon_{Gc})}{d\zeta^2} > 0. \quad (17)$$

Вид функции (16) приведен на рис. 4 (а), вид первой и второй производных функции (16) изображен на рис. 4 (б и в).

Для расчета оптимального значения ζ^* необходимо решить уравнение

$$\frac{d(\pi\sigma\varepsilon_{Gc})}{d\zeta} \Big|_{\zeta=\zeta^*} = \frac{1}{2} - 2\zeta^* \cdot \exp\left[-\frac{(\zeta^*)^2}{2}\right] = 0. \quad (18)$$

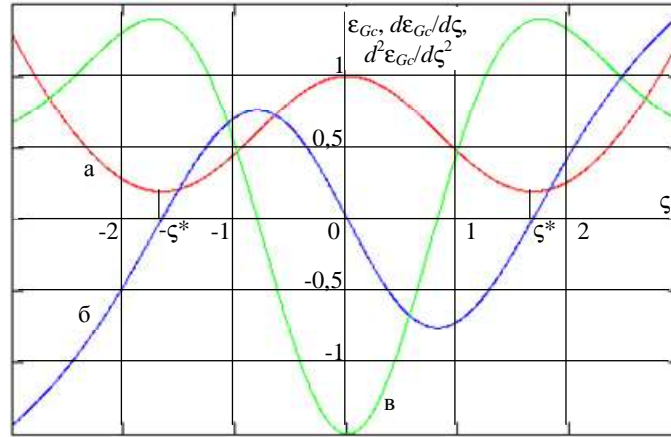


Рис. 4. Функция $\pi\sigma\epsilon_{Gc}(\zeta)$ (а), ее первая (б) и вторая (в) производные

Решение уравнения дает следующие три корня: $\zeta^* = \frac{\sigma}{b_G} = (-1,65; 0; 1,65)$. В точке $\zeta^* = \frac{\sigma}{b_G} = 0$ имеет место максимум функции $\pi\sigma\epsilon_{Gc}$, а в точке $\zeta^* = \frac{\sigma}{b_G} = \pm 1,65$ - минимум указанной функции, откуда $b_G^* = 0,606\sigma$, где σ - радиус кружка рассеяния объектива.

Таким образом, импульсный двумерный пространственный отклик объектива при формировании изображения в плоскости расположения чувствительных ячеек приемника излучения может быть представлен в виде следующей двумерной функции Гаусса:

$$w_G(Y, Z) = \frac{1}{2\pi(0,605\sigma)^2} \exp\left(-\frac{Y^2 + Z^2}{2(0,605\sigma)^2}\right). \quad (19)$$

Преобразование Фурье от $w_G(Y, Z)$ дает

$$\begin{aligned} W_G(\omega_Y, \omega_Z) &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{2\pi(0,605\sigma)^2} \exp\left(-\frac{Y^2 + Z^2}{2(0,605\sigma)^2}\right) \exp(-jY\omega_Y - jZ\omega_Z) dY dZ = \\ &= \exp\left(-\frac{(\omega_Y \cdot 0,605\sigma)^2 + (\omega_Z \cdot 0,605\sigma)^2}{2}\right). \end{aligned} \quad (20)$$

Как видно из (20), передаточная функция объектива представляет собой гауссиан, нормированный по амплитуде.

Таким образом, разработана модель формирования оптического изображения точки в плоскости расположения фоточувствительных элементов фотоэлектронного преобразователя, для разработанной модели получено уравнение для оптимального расчета параметра ширины гауссиана, представляющего геометрическую точку, по радиусу кружка рассеяния объектива.

Работа выполнена в рамках государственного задания по проекту "Параллельные полумарковские процессы в системах управления мобильными роботами" (№ 2.3121.2017/ПЧ).

Список литературы

1. Lloyd J.M. Thermal Imaging Systems, Springer US. 2013.
2. Richard H. Vollmerhausen, Ronald G. Driggers. Analysis of Sampled Imaging Systems // SPIE Press. 2000.
3. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2005. 1072 с.
4. Rosenfeld A. and Kak A. Digital Image Processing, Academic Press, Orlando. 1982. 2nd Edition, Vol. 2 ed.
5. Marshall G.F., Stutz G.E. Handbook of Optical and Laser Scanning (Optical Science and Engineering). CRC Press, 2004. 1175 p.
6. Калинин Н.Н. Численные методы: учеб. пособие. 2-е изд., испр. СПб.: БХВ-Петербург, 2011. 592 с.

Акименко Татьяна Алексеевна, канд. техн. наук, доц., tantan72@mail.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет,

Филиппова Екатерина Вячеславовна, лаборант, kisskin@bk.ru Россия, Тула, Тульский государственный университет

FORMATION OF THE IMAGE ON THE RECEIVER OF HEAT RADIATION

T.A. Akimenko, E.V. Filippova

A model for the formation of a thermal picture of a scene is considered, which should take into account: the features of the object of observation as the source of the signal; signal transmission through the physical elements of the thermal imaging system.

Key words: radiation, pupil of the lens, Energy illuminance, the Thermal Receiver.

Akimenko Tatiana Alekseevna, candidate of technical sciences, docent, tantan72@mail.ru, Russia, Tula, Tula State University,

Filippova Ekaterina Vyacheslavovna, laboratory assistant, kisskin@bk.ru, Russia, Tula, Tula State University

КОМПЛЕКС АЛГОРИТМОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ИСПЫТАНИЙ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Н.С. Акиншин, М.Ю. Фомичёв, И.Ю. Мацур

Определены задачи построения испытательной базы сложных технических систем. Предложены алгоритмы решения задач испытаний сложных технических систем.

Ключевые слова: сложные технические системы, испытательная база, квазиерархические модели.

Основной задачей, решаемой при планировании испытаний сложных технических систем (СТС), является следующая задача (**A**: определить минимальные значения характеристик комплексов системы обеспечения испытаний (СОИ), обеспечивающие с заданной достоверностью достижение заданного значения показателя эффективности испытательной базы (ИБ)).

При решении данной задачи полагаются заданными:

1. Перечень образцов СТС, поступающих на испытания в программном периоде.
2. Характеристики целей, для борьбы с которыми создается вооружение.
3. Моменты программного периода, в которые выходят на испытания образцы СТС.
4. Основные характеристики образцов СТС, используемые как параметры модели.
5. Состояние комплексов СОИ в начальный момент программного периода, т.е. номенклатура и значения характеристик комплексов СОИ.
6. Структура квазиерархической модели ИБ.
7. Функции связи между элементами модели.
8. Коэффициенты важности образцов СТС и значения некоторых других параметров модели.

Часть исходных данных, может быть задана в расплывчатом виде. В связи с этим решается задача **B** – частный случай задачи **A** при не расплывчатых исходных данных и функциях связи стандартного вида, решается более общая задача **D** при расплывчатых исходных данных и функциях связи стандартного вида. Для решения этих задач предлагается также метод определения коэффициентов важности объектов по результатам расплывчатых экспертных оценок (задача **E**) и метод вычисления функций от расплывчатых переменных (задача **C**).

Разработанные в [1-4] методы позволяют предложить достаточно эффективные алгоритмы решения задач **B**, **C**, **D**, **E**. В основе алгоритмов решения задач **B**, **D** и **E** лежит анализ функционально-взвешенных графов. При этом наряду с оригинальными алгоритмами здесь используются известные процедуры Флойда [2], Марченко-Муравьёва [5], Лейфмана [3], построения графа Герца [4].

1. Алгоритм анализа квазиерархической модели со стандартными функциями связи и известными параметрами.

Исходной информацией для решения задачи **B** являются:

– глубина T планового периода $T = \{1, 2, \dots, T\}$;

– перечень образцов СТС, которые поступят на испытания в период T , а также значения их основных технических характеристик;

– множество $Y = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_n\}$ показателей эффективности ИБ, качества решения ею отдельных задач испытаний, основные ТТХ комплексов СОИ;

– ориентированный граф $G = (Y, U)$ с множеством вершин $Y = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_n\}$ и множеством дуг U , задаваемый с помощью технологической матрицы $\lambda = (\lambda_{ij})_{n \times n}$ весов дуг;

– предельно допустимые значения y_j характеристик элементов КИМ, не лежащих на нижнем уровне (параметры модели);

– y_{j0}^0 требуемое значение показателя эффективности системы.

Для решения задачи **B** необходимо выполнить следующие этапы:

1. Вычислить матрицу $\pi = (\pi_{ij})_{n \times n}$ весов максимальных путей графа G $\pi_{ij} = \max_{p \in P_{ij}} \prod_{(s,t) \in p} \alpha_{st}$, $\forall i, j \in V$, по правилу:

$$a_{st}^{(i)} = \begin{cases} a_{st}^{(*)}, (s,t) \in U_i, \\ 0, (s,t) \notin U_i \end{cases}$$

где $U_i = \{(s,t) / s \in V_i, t \in F_i\}$.

2. Проверить выполнимость неравенств

$$\bar{y}_j \geq y_{i0}^0 \pi_{i0j} \quad (1)$$

для всех характеристик Y_j , не лежащих на нижнем уровне КИМ.

3. Определить решение задачи **B** формулами, если неравенства (1) выполняются:

$$\bar{y}_j^0 \geq y_{i0}^0 \pi_{i0j}, \forall j \in L_p. \quad (2)$$

4. Проанализировать возможности либо увеличения предельных значений $\bar{y}_{j_1}, \dots, \bar{y}_{j_s}$, либо снижения требования по эффективности ЛИБ, если неравенства (2) при некоторых $j = j_1, j_2, \dots, j_s$ не выполняются.

Этап 4 является неформальным, этапы 2 - 3 выполняются тривиально. Рассмотрим процедуру выполнения этапа 1.

Для вычисления матрицы π необходимо:

- 1.1. Определить бикомпоненты G_1, G_2, \dots, G_r графа G .
- 1.2. Упорядочить найденные бикомпоненты по уровням L_1, L_2, \dots, L_p (число уровней p также должно определяться).
- 1.3. Найти матрицы весов максимальных путей в каждой нетривиальной бикомпоненте.
- 1.4. Осуществить "склеивание" полученных на этапе 1.3 матриц по формулам

$$A_{ij}^{(*)} = A_{ii}^* \left(\sum_{i < i_1 < i_2 < \dots < i_k} A_{ii_1} A_{i_1 i_2}^* A_{i_2 i_3}^* \dots A_{i_k j} \right) A_{jj}^*. \quad (3)$$

Этапы 1.1-1.2 осуществляют квазиерархическое упорядочение вершин графа G , этапы 1.3-1.4 – вычисление матрицы π с учетом этого упорядочения.

Обозначим через $u = (u_{ij})_{n \times n}$ матрицу смежностей [1] графа:

$$u_{ij} = \begin{cases} 1, & (i, j) \in U; \\ 0, & (i, j) \notin U. \end{cases}$$

Этап 1.1 выполняется с помощью алгоритма нахождения бикомпонент графа [3]. В результате выполнения этого этапа определяются множества вершин V_1, V_2, \dots, V_r бикомпонент G_1, G_2, \dots, G_r и массив $R = (R_{(1)}, \dots, R_{(n)})$, где $R_{(i)}$ – номер бикомпоненты, в которую входит вершина i .

Определим для каждой бикомпоненты G_i два множества:

$S_{(i)}$ – множество вершин графа G , в которые ведут дуги из бикомпоненты G_i ;

$T_{(i)}$ – множество вершин бикомпоненты G_i , из которых ведут дуги в другие бикомпоненты.

Очевидно,

$$j \in S_{(i)} \Leftrightarrow j \in V_i, \exists k \in V_i : u_{ki} = 1,$$

$$j \in T_{(i)} \Leftrightarrow j \in V_i, \exists k \notin V_i : u_{ik} = 1.$$

Этап 1.2 состоит из следующих подэтапов:

1.2.1. Определяется граф Герца Γ графа G [4], т.е. на множестве бикомпонент G_1, G_2, \dots, G_r строится матрица $g = (g_{ij})_{n \times n}$ смежности этих бикомпонент:

$$g_{ji} = \begin{cases} 1, & \text{если } \exists k \in V_i \text{ и } t \in V_j : u_{ki} = 1; \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Вершинами графа Герца Γ являются бикомпоненты G_1, G_2, \dots, G_r , а множество дуг определяется матрицей смежности вершин g .

1.2.2. Пусть M – номер уровня. Положим $M = 0$.

1.2.3. Проверить, существуют ли в матрице g ненулевые элементы. Если существуют, то перейти к этапу 1.2.4, в противном случае – к этапу 1.2.6.

1.2.4. $M := M + 1$.

1.2.5. На уровень L_m относят те вершины G_i графа Γ , для которых в i -м столбце матрицы g стоят одни нули:

$$i \in L_m \Leftrightarrow g_{ir} = 0, \forall k = \overline{1, r}.$$

Построим новую матрицу $g = (g_{ij})_{r \times r}$:

$$g_{ij} = \begin{cases} g_{ij}, \forall i \notin L_1 \cup L_2 \cup \dots \cup L_m, \forall j = \overline{1, r}; \\ 0, \forall i \in L_1 \cup L_2 \cup \dots \cup L_m, \forall j = \overline{1, r}; \end{cases}$$

и вернемся к этапу 1.2.3.

1.2.6. Все уровни L_1, L_2, \dots, L_p определены. Определим массив $L = \{L_{(1)}, \dots, L_{(p)}\}$, где $L_{(k)}$ – номер уровня, на котором находится бикомпонента G_k .

С помощью перенумерации вершин графа G матрицу π можно представить в виде

$$\pi = \begin{pmatrix} \Pi_{11} & \Pi_{12} & \Pi_{13} & \dots & \Pi_{1p} \\ 0 & \Pi_{22} & \Pi_{23} & \dots & \Pi_{2p} \\ 0 & 0 & \Pi_{33} & \dots & \Pi_{3p} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \Pi_{pp} \end{pmatrix},$$

где Π_{ii} – квадратная матрица весов максимальных путей подграфа $G(L_i)$; Π_{ij} – матрица весов максимальных путей графа G , ведущих с уровня L_i на уровень L_j .

Для каждого $I = \overline{1, p}$ матрица Π_{ii} представима в виде:

$$\Pi_{ii} = \begin{pmatrix} D_{11}^{(i)} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & D_{22}^{(i)} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & D_{RR}^{(i)} \end{pmatrix},$$

где $D_{ss}^{(i)}$ – квадратные подматрицы матрицы Π_{ii} , задающие веса максимальных путей бикомпонент, лежащих на уровне L_i , p_i – число бикомпонент на уровне L_i , $|L_i| = p_i$.

Этап 1.3 – определение матрицы $D_{ss}^{(i)}$, $s = \overline{1, p_i}$, $I = \overline{1, r}$ – осуществляется с помощью алгоритма Флойда [2].

Рассмотрим выполнение этапа 1.4, используя соотношения (3).

Пусть i_0 – произвольный элемент уровня L_1 . Запишем схему выполнения этапа 1.4 для определения i -й строки матрицы π (элементы остальных строк определяются аналогично).

1.4.1. Положим вначале элементы π_{ij} матрицы π равными либо найденным на этапе 1.3 весам максимальных путей, если i и j входят в одну бикомпоненту, либо α_{ij} , если i и j не входят в одну и ту же бикомпоненту.

1.4.2. Пусть k – номер уровня. Положим $k = 1$.

1.4.3. $k := k + 1$.

1.4.4. Для всех вершин $i \in L_k$ определяем величину π_{i_0j} с помощью цикла:

$$\pi_{i_0j} = \max\left(\pi_{i_0j}, \max_{l \in S(i), t \in T(i)} \pi_{i_0l}^* \pi_{lt}^* \pi_{tj}\right), \quad (4)$$

где внутренний максимум берется по всем $l \in S(i)$, $t \in T(i)$ и по всем номерам $i \in L_1 \cup L_2 \cup \dots \cup L_{k-1}$.

1.4.5. Если $k < p$, то перейти к этапу 1.4.3, в противном случае все элементы i -й строки матрицы π определены.

Вычисление по формуле (4), сделанное на этапе 1.4.4 в виде цикла, допустимо в силу того, что величины π_{lt} известны (этап 1.3), и если $k \in V_i$, $j \in V_i$, то $\alpha_{kj} = 0$, если $k \in T(i)$, $\alpha_{jk} = 0$, если $k \in S(i)$.

Блок-схема предложенного алгоритма показана на рис. 1.

Исходной информацией для алгоритма являются:

- глубина T планового периода $T = \{1, 2, \dots, T\}$;
- перечень образцов В и ВТ, которые поступят на испытания в период T ;
- множество $Y = \{Y_1, \dots, Y_i\}$ показателей эффективности ИБ, качества решения ею отдельных задач испытаний, основных ТТХ комплексов СОИ;
- ориентированный граф $G = (Y, U)$, задающий структуру КИМ ИБ;
- расплывчатые значения характеристик образцов ВВТ, расплывчатые значения параметров

$$A_{ij} = \{(\alpha_{ij}, \mu_{ij}(\alpha_{ij})) / \alpha_{ij} \geq 0\}, \forall (Y_i, Y_j) \in U,$$

$$A_{ij} = \{(\bar{y}_j, \mu_j(\bar{y}_j)) / y_j \geq 0\}, \forall (Y_j) \in Y \setminus L_p;$$

- λ – фиксированный уровень показателя эффективности ИБ;
- μ^0 – заданная достоверность.

Для решения задачи **D** необходимо выполнить следующие шаги:

1. Найти наибольшие $(\alpha_{ij}^+$ и $y_{ij}^+)$ и наименьшие $(\alpha_{ij}^-$ и $y_{ij}^-)$ корни уравнений:

$$\begin{aligned} \mu_{ij}(\alpha_{ij}) &= \mu^0, \quad \forall (Y_i, Y_j) \in U, \\ \mu_j(y_j) &= \mu^0, \quad \forall (Y_j) \in Y \setminus L_p. \end{aligned} \quad (5)$$

Если эти уравнения корней не имеют, то задача **D** не имеет решения. В противном случае положить $\lambda^+ = (\lambda^+_{ij})_{n \times n}$ и $\lambda^- = (\lambda^-_{ij})_{n \times n}$ и перейти к шагу 2.

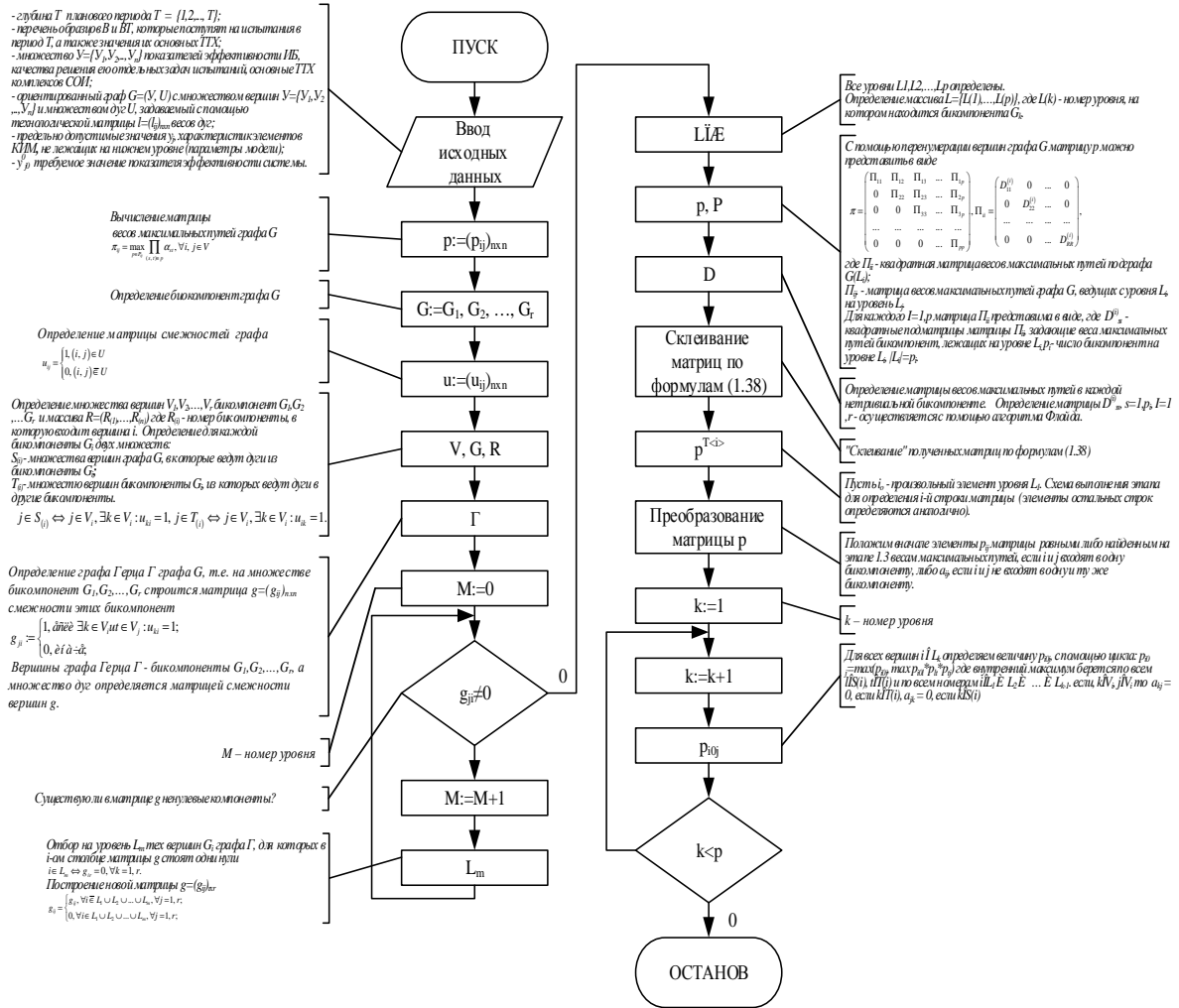


Рис. 1. Алгоритм решения задачи В

2. Определить матрицы $\pi^+ = (\pi^+_{ij})_{n \times n}$ и $\pi^- = (\pi^-_{ij})_{n \times n}$ весов максимальных путей в графах G_λ и $G_{\lambda+}$.

3. Проверить условие существования у задачи D решения, т.е. проверить, выполняется ли неравенство

$$\min_{Y_j \in Y \setminus L_p} \bar{y}_j^+ / \pi_{i0j}^- \geq \lambda.$$

Если неравенство не выполняется, то задача D решения не имеет. Если оно выполняется, то перейти к шагу 4.

4. Определить значения π_{i0j}^{++} по формулам

$$\pi_{i0j}^{++} = \min(\pi_{i0j}^{++}, 1/\lambda \bar{y}_j^+), \forall Y_j \in L_p.$$

5. Найти интервалы

$$[\lambda \pi_{i0j}^-, \lambda \pi_{i0j}^{++}], \forall Y_j \in L_p,$$

являющиеся решением задачи 2.

Для решения уравнений (5) используется хорошо известный метод дихотомии. Применимость метода дихотомии следует из непрерывности и унимодальности функций μ_{ij} и μ_j . В результате решения этих уравнений определим матрицы α^- и α^+ .

Шаг 2 по известным матрицам α^- и α^+ выполняется аналогично шагу 1 алгоритма решения задачи В. Шаги 3-6 выполняются элементарно. Укрупненная блок-схема алгоритма приведена на рис. 2.

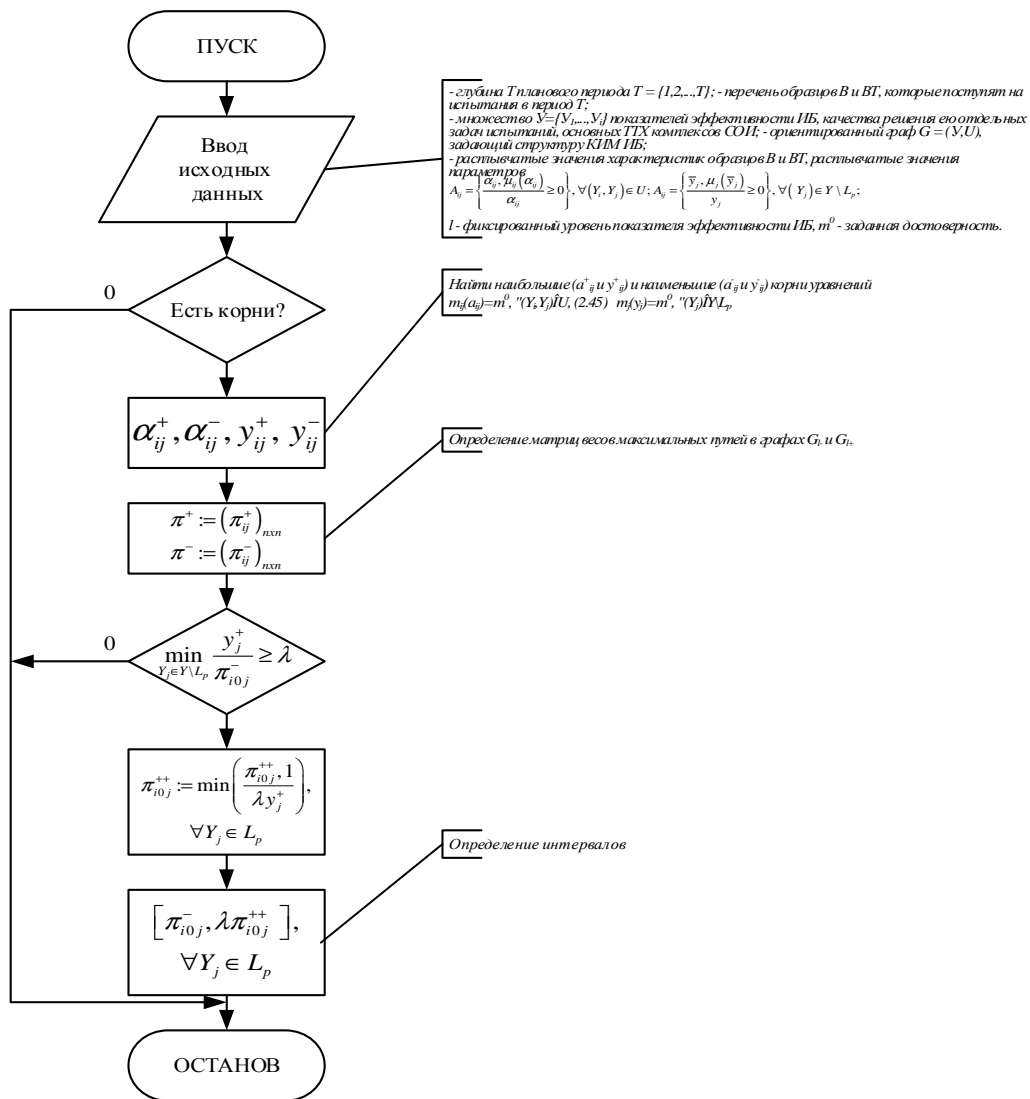


Рис. 2. Алгоритм решения задачи D

Исходной информацией для алгоритма решения задачи С являются:

- число переменных n ;
- функция $F(x_1, x_2, \dots, x_n)$;
- функции принадлежности $\mu_I(t)$ нечетких переменных A_i ;
- носители $(a_i, b_i) = \sup \mu_I(t)$ функций $\mu_I(t)$;
- точки максимума t_i^0 функций $\mu_I(t)$;

- $I = \{i\}$ – множество индексов i , таких, что F возрастает по переменной x_i ;
- $J = \{1, 2, \dots, n\} \setminus I$;
- ε – точность решения;
- y – фиксированное значение зависимой переменной $y = F(x_1, \dots, x_n)$.

Решение задачи С для функции F , монотонной по каждой переменной, сводится к случаю, когда функция F является монотонно возрастающей.

Для этого осуществляется ряд тривиальных замен переменных. Будем считать, что $I = \{1, 2, \dots, n\}$, $J = \emptyset$. С учетом этого запишем шаги алгоритма.

1. Вычисляются границы отрезка (a, b) :

$$a = F(a_1, \dots, a_n), \quad b = F(b_1, \dots, b_n).$$

2. Определяются

$$\lambda_i^0 = \mu_i(t_i^0), \quad i = \overline{1, n},$$

$$\lambda_0 = \min \lambda_i^0.$$

3. Устанавливаются границы отрезка (a', b') :

$$a' = \varphi(\lambda_0), \quad b' = \psi(\lambda_0).$$

4. Если $y < a$ или $y > b$, то $\mu(y) = 0$.

Перейти к шагу 9.

5. Если $a' < y < b'$, то $\mu(y) = \lambda^0$;

Перейти к шагу 9.

6. Если $y < a'$, то перейти к шагу 7, иначе перейти к шагу 8.

7. Методом дихотомии вычисляется λ_φ – корень уравнения $\varphi(\lambda) = y$.

Положить $\mu(y) = \lambda_\varphi$ и перейти к шагу 9.

8. Методом дихотомии вычисляется λ_ψ – корень уравнения $\psi(\lambda) = y$.

Положить $\mu(y) = \lambda_\psi$ и перейти к шагу 9.

9. Вывести на печать решение $\mu(y)$. Конец.

Укрупненная блок-схема алгоритма приводится на рис. 3.

Для работы алгоритма решения задачи Е необходимы следующие исходные данные:

M – количество сравниваемых объектов; $M1$ – количество проведенных попарных сравнений; $U[1:2 \times M1]$ – список сравниваемых пар – $\{U[2 \times k - 1], U[2 \times k]\}$; EPS – точность вычисления весов контуров в аддитивной форме; LL – начальное, значение λ_1 , обычно $LL = 0.5$; $EPS1$ – точность вычисления λ , $EPS1 \ll EPS$.

В алгоритме предусмотрено уменьшение $EPS1$ в случае, если оно окажется недостаточно малым по сравнению с EPS . $MU(i, t)$ – процедуры вычисления значений (аналитическая запись) функций принадлежности $\mu_j(t)$ в точке t , $i = 1, 2 \times M1, j = 1, M1$, причем

$$\mu_j(t) = \begin{cases} MU(2 \times j - 1, t), & t \in [0, a]; \\ MU(2 \times j, t), & t \in [a, \infty], \end{cases}$$

где $a = MM[j]$ – точка глобального максимума функции $\mu_j(t)$. $MM[1:M1]$ – массив точек глобального максимума функций принадлежности $\mu_j(t)$, $j = 1, M1$.

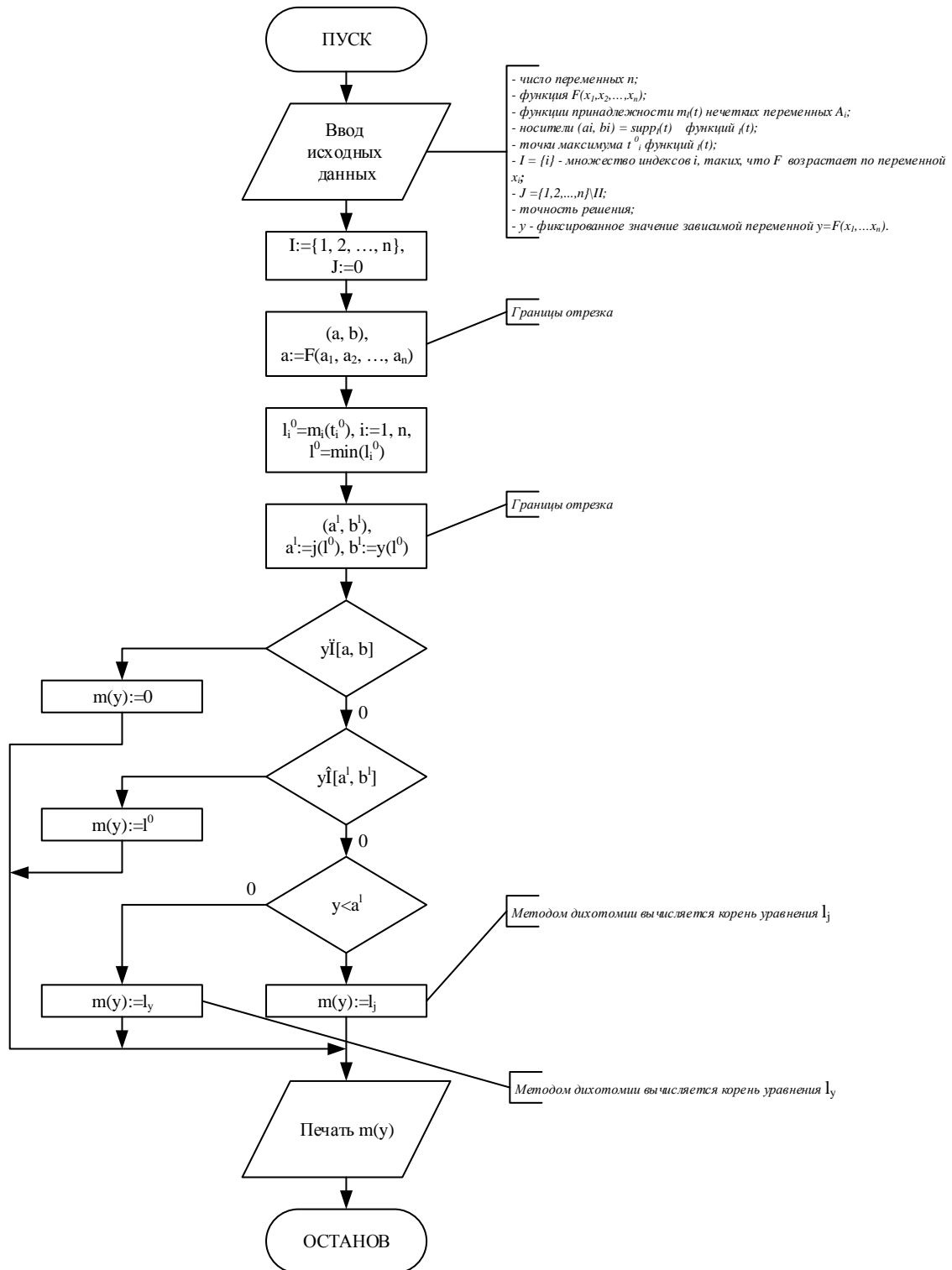


Рис. 3. Алгоритм решения задачи С

Основные шаги алгоритма следующие:

1. Построить исходный граф $\Gamma(\lambda) = (V, E)$.
2. Организовать цикл по i -индексу последовательно рассматриваемых $D^{(i)}$ – множеств $i := 1$.
3. Определить $\max \lambda = \lambda_i$, в графе $\Gamma(\lambda_{i-1})$. ($\Gamma(\lambda_{i-1})$ для $i = 1$ есть $\Gamma(\lambda)$, построенный на шаге 1.
4. С помощью алгоритма Флойда [2] определить матрицу максимальных путей $\pi(\lambda_i) = (\pi_{ki}(\lambda_i))_{m \times m}$.
5. Проверить, является ли граф $\Gamma^{i-1}(\lambda_i)$ единичной бикомпонентой. Если да, то перейти к шагу 8, если нет – к шагу 6.
6. По матрице максимальных путей определить единичные бикомпоненты графа $\Gamma(\lambda_i)$ и веса входящих в них дуг.
7. $i := i + 1$ и перейти к шагу 3.
8. Восстановить вектор коэффициентов относительной важности объектов по имеющейся матрице максимальных путей. Задача решена. Останов.

Укрупненная блок-схема программы, реализующей предлагаемый алгоритм, приведена на рис 4.

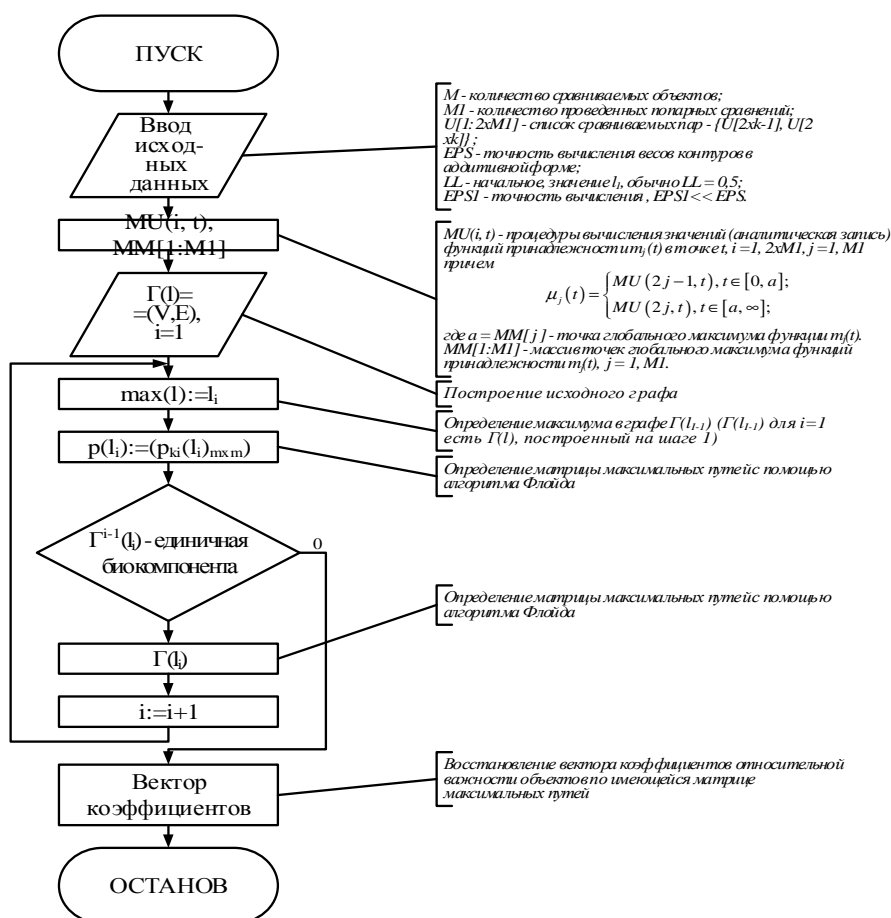


Рис. 4. Алгоритм решения задачи E

Таким образом, применение предлагаемых алгоритмов формализованных задач позволит принимать обоснованные решения в области организации эффективного процесса испытаний сложных технических систем.

Список литературы

1. Харари Ф. Теория графов. М.: Мир. 2009. 302 с.
2. Кристофидес Н. Теория графов (алгоритмический подход). М.: Мир, 1979. 432 с.
3. Лейзман Л.Я. Эффективный алгоритм разбиения ориентированного графа на бикомпоненты // Кибернетика. 1966. № 5.
4. Зыков А.А. Теория конечных графов. Ч. 1. Новосибирск: Наука, 1969. 554 с.
5. Марченко В.А., Мравьев В.И. Построение кратчайших маршрутов на графе, алгоритм № 06-057. Библиотека алгоритмов. 1969.
6. Бусленко В.Н. Автоматизация имитационного моделирования сложных систем. М.: Наука, 1977. 239 с.

Акиншин Николай Степанович, д-р техн. наук, проф., начальник отдела, cdbae@cdbae.ru, Россия, Тула, АО ЦКБА,

Фомичев Максим Юрьевич, ст.науч.сотр., fgu3cnii@yandex.ru, Россия, Москва, 3 ЦНИИ МО РФ,

Мацур Игорь Юрьевич, преподаватель, info@tsu.tula.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет

A SET OF ALGORITHMS FOR SOLVING PROBLEMS OF TESTING OF COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS

N.S. Akinshin, M.Y. Fomichev, I.Yu. Matsur

The tasks of building a test base of complex technical systems. The proposed algorithms for solving problems of testing of complex technical systems.

Key words: complex technical systems, test facilities, a quasi-hierarchical model.

Akinshin Nikolai Stepanovich, doctor of technical sciences, professor, head of department, cdbae@cdbae.ru, Russia, Tula, JSC CKBA,

Fomichev Maxim Yurievich, senior researcher, fgu3cnii@yandex.ru, Russia, Moscow, 3 TSNII MO RF,

Matsur Igor Yurievich, lecturer, info@tsu.tula.ru, Russia, Tula, Tula State University

ОБОБЩЕННАЯ МОДЕЛЬ ПРОСТРАНСТВЕННО-РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

Р.Н. Акиншин, Д.В. Шевченко, А.И. Чернышков

Рассмотрены особенности построения территориально распределенных систем обработки информации, построенных на основе радиолокационных комплексов. Предложено для обеспечения синхронизации процесса совместной обработки входящих измерений в центре использовать на каждом средстве получения информации навигационной аппаратуры потребителей ГЛОНАСС/GPS. Формализована математическая модель процессов обработки информации в данных системах. Предложена структура имитационной модели.

Ключевые слова: территориально распределенные системы обработки информации, имитационная модель

К настоящему времени известны различные виды территориально распределенных систем обработки информации наземного, воздушно-наземного и воздушного базирования [1-4]. В общем случае они состоят из совокупности территориально распределенных датчиков (систем) информационного обеспечения; центра сбора, обработки информации и управления (ЦСОУ); каналов связи и системы многоканального наведения средств поражения. Территориально распределенные средства наблюдения (ТРСН) обладают существенными преимуществами по отношению как к однопозиционным системам наведения, так и к их совокупности, не объединенной в единую систему. Эти преимущества обусловлены, прежде всего, возможностью использования дополнительной информации, заключенной в пространственной структуре электромагнитного радиолокационного и глобального навигационного полей. Применение ТРСН позволяет в комплексе решить целый ряд проблем повышения живучести, помехозащищенности и точности наведения, маневрирования информационными ресурсами и средствами поражения. Однако, давая огромные преимущества, ТРСН требуют существенного усложнения алгоритмов обработки информации и управления, обусловленного появлением в системе наведения еще одного, более высокого иерархического уровня. Среди задач, решаемых на этом уровне, ключевыми являются: алгоритмы целенаправленного управления пространственным положением отдельных позиций, управления информационными потоками между ними, синхронизации событий и процессов, целераспределения и выбора средств поражения. Кроме того, весьма специфичны и задачи информационного обеспечения, основанные на обработке измерений различной физической природы и поступающих в различные моменты времени.

В общем случае объединение информации для решения задач управления позициями может осуществляться различными способами: на уровне первичной обработки в процессе обмена высокочастотными сигналами, когда вся территориально распределенная радиолокационная система (ТРРС) рассматривается как единая разреженная антенная решетка; на уровне вторичной обработки, когда позиции обмениваются оценками фазовых координат, сформированных на отдельных позициях; и на уровне третичной обработки, когда информация используется для решения задач распределения объектов наблюдения [1, 2, 4-10].

На рис. 1 приведена упрощенная схема пространственно-распределенной системы обработки информации (ПРСОИ), включающая n радиолокационных станций (РЛС), космическую навигационную систему, контрольно-корректирующую станцию (ККС), каналы связи (между РЛС и РЛС и РЛС и ККС).

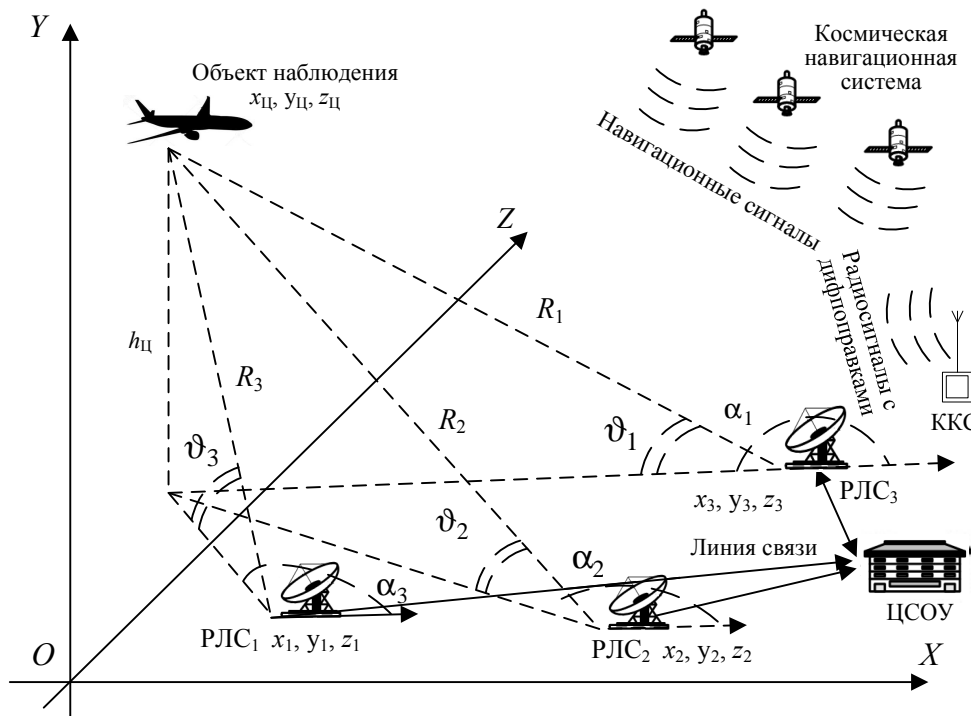


Рис. 1. Схема пространственно-распределенной системы информационного обеспечения средств поражения

На рис. 1 для наглядности приведено лишь 3 измерительных средства с РЛС и один объект наблюдения. При использовании авиационной пространственно-распределенной системы информационного обеспечения радиолокационные станции расположены на летательных аппаратах (ЛА).

Пусть на j -й измерительной позиции (ИП) ($j = \overline{1, J}$) в момент времени t_{kj} (в локальной шкале времени (ЛШВ) j -й позиции) проведены следующие измерения:

а) радиолокационные

$$\mathbf{y}_{\text{РЛС},k_j}^{(j)} = \mathbf{H}\mathbf{X}_{\text{РЛ},k_j}^{(j)} + \boldsymbol{\eta}_{\text{РЛ},k_j}, \quad (1)$$

где $\mathbf{X}_{\text{РЛ},k_j}^{(j)} = \begin{bmatrix} \alpha_{j,k_j} & \beta_{j,k_j} \end{bmatrix}^T$, $\mathbf{X}_{\text{РЛ},k_j}^{(j)} = \begin{bmatrix} \alpha_{j,k_j} & \beta_{j,k_j} & R_{j,k_j} \end{bmatrix}$ – вектор измеряемых координат в локальной системе координат (ЛСК), связанной с j -й позицией;

б) космической навигационной системы (КНС)

$$\mathbf{y}_{\text{СНС},k_j}^{(j)} = \mathbf{X}_{\text{СНС},k_j}^{(j)} + \mathbf{n}_{k_j}, \quad (2)$$

где $\mathbf{X}_{\text{СНС},k_j}^{(j)} = \begin{bmatrix} \mathbf{x}_{j,k_j}(\boldsymbol{\lambda}^{(j)}(\boldsymbol{\mu})) \\ \mathbf{V}_{j,k_j}(\boldsymbol{\lambda}^{(j)}(\boldsymbol{\mu})) \end{bmatrix}$, \mathbf{x}_{j,k_j} – вектор оценок координат j -й позиции по всем видимым навигационным спутникам (НС); $\tilde{\mathbf{V}}_{k_j}^{(j)}$ – вектор оценок псевдоскоростей по всем видимым НС; $\boldsymbol{\lambda}^{(j)}(\boldsymbol{\mu})$ – вектор, характеризующий состояние ионосферы и тропосферы, погрешности эфемеридного обеспечения для j -й измерительной позиции; $\boldsymbol{\mu}(t_{\text{ФД}})$ – вектор параметров, передаваемых в сигналах контрольно-корректирующих станций (ККС) и которые определены в ЛШВ ККС $t_{\text{ФД}}$;

в) инерциальные (для авиационных или мобильных ИП)

$$\mathbf{y}_{\text{ИНС},k_j}^{(j)} = \tilde{\mathbf{H}}\mathbf{X}_{\text{ИНС},k_j}^{(j)} + \boldsymbol{\eta}_{\text{ИНС},k_j}, \quad (3)$$

где $\mathbf{X}_{\text{ИНС},k_j}^{(j)} = \begin{bmatrix} \mathbf{a}_{\text{ИНС},k_j}^{(j)} \\ \boldsymbol{\psi}_{\text{ИНС},k_j}^{(j)} \end{bmatrix}$, $\mathbf{a}_{\text{ИНС},k_j}^{(j)}$ – вектор ускорения j -й измерительной позиции в СК, задаваемой чувствительными осями ИНС, $\boldsymbol{\psi}_{\text{ИНС},k_j}^{(j)}$ – вектор угловых скоростей j -й ИП в той же СК.

Отметим, что измерения (1)-(3) приведены к единому моменту времени (синхронизированы) t_{k_j} ЛШВ на j -й ИП.

Однако локальные шкалы времени различных позиций не синхронизированы между собой, поэтому в центре сбора, обработки информации и управления (ЦСОУ) возникает проблема синхронизации процесса совместной обработки приходящих измерений.

Для решения этой проблемы на каждом ИП используется навигационная аппаратура потребителей (НАП) СНС ГЛОНАСС/GPS, оборудованная приемником сигналов ФД.

При работе НАП на j -м пункте формируется шкала времени потребителя (ШВП), которая принимается в качестве локальной ШВ (ЛШВ) $t_k^{(ЛШВ_j)}$, ЛШВ в самой НАП привязывается к СШВ $t_k^{(СШВ)}$ СНС ГЛОНАСС. В результате такой привязки формируются поправки $\Delta t_{k,j}$ ЛШВ к СШВ.

На пунктах измерения радиолокационные (1), навигационные (2), инерциальные (3) и другие измерения (которые для удобства обозначим вектором $\mathbf{Y}_{изм}$) формируются в ЛШВ, т.е. имеем $\mathbf{Y}_{изм} \left(t_k^{(ЛШВ_j)} \right)$, а затем пересчитываются (привязываются) в СШВ, т.е. $\mathbf{Y}_{изм} \left(t_k^{(ЛШВ_j)} \right) = \mathbf{Y}_{изм}^{(j,k)} \rightarrow \mathbf{Y}_{изм}^{(j,k)} \left(\tilde{t}_{k,j}^{(СШВ)} \right)$. Таким образом, формируются пары $\left\{ \mathbf{Y}_{изм}^{(j,k)}, \tilde{t}_{k,j}^{(СШВ)} \right\}$, которые передаются на ЦСОУ.

Принятые на j ИП сигналы ФД содержат дифференциальные поправки $\mathbf{U}_{ДП} \left(\tilde{t}_{b_{ДП}}^{(СШВ)} \right)$, соответствующие времени $\tilde{t}_{b_{ДП}}^{(СШВ)}$ системной ШВ, которые также передаются на ЦСОУ в векторе измерений $\mathbf{Y}_{изм}^{(j,k)} \left(\tilde{t}_{k,j}^{(СШВ)} \right)$.

Таким образом, необходима разработка новых алгоритмов траекторного управления подвижными приемными позициями и алгоритмов вторичной обработки данных в ТРРЛС. Реализация этих алгоритмов позволит управлять приемными позициями наилучшим образом с точки зрения точности наведения и экономичности в реальных условиях боевого применения ТРРЛС.

Для оценки эффективности ТРРЛС, а также оценки параметров процессов обработки информации разработана имитационная модель, обобщенная схема которой приведена на рис. 2.

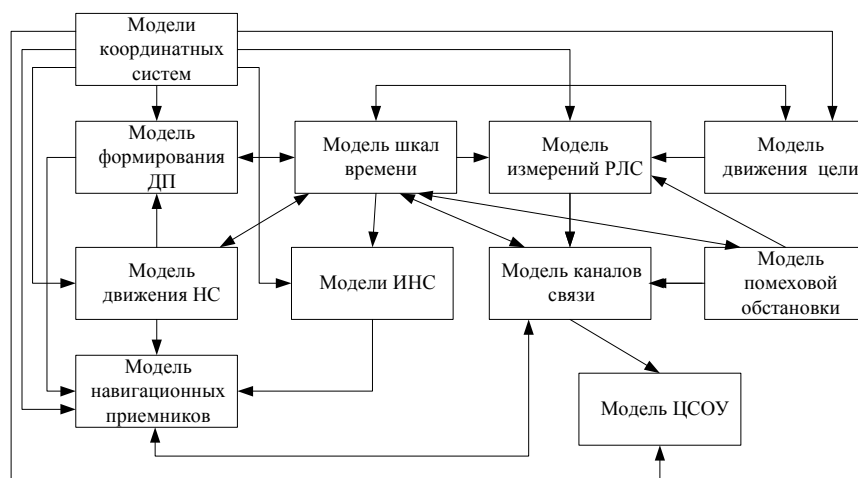


Рис. 2. Обобщенная схема имитационной модели

Имитационная модель включает следующие основные модули.

1. *Модели координатных систем* предназначены для формирования используемых в каждой конкретной задаче систем координат (СК), например, земной геоцентрической, локальной в каждом пункте измерения и т.д.

2. *Модель шкал времени* предназначена для формирования единой шкалы времени системы (СШВ), локальных шкал времени (ЛШВ) на измерительных пунктах, шкалы времени КНС и др.

3. *Модель движения навигационных спутников* предназначена для имитации движения навигационных спутников (НС) по орбитам с привязкой к системной шкале времени.

4. *Модель формирования дифференциальных поправок (ДП)* предназначена для формирования ДП (поправки к псевдо дальностям, псевдо фазам, координатам и др.) на ККС для каждого НС с привязкой к координатам и времени.

5. *Модель инерциальных навигационных систем (ИНС)* имитирует измерения инерциальных датчиков (акселерометров и гироскопов), устанавливаемых на подвижных измерительных пунктах.

6. *Модель навигационных приемников (НП)* предназначена для измерений координат измерительных пунктов с привязкой ко времени ЛШВ, а также для синхронизации измерений НП, ИНС и РЛС.

7. *Модель движения цели* формирует движение цели по той или иной траектории в заданной СК с привязкой к системному времени.

8. *Модель помеховой обстановки* предназначена для имитации воздействия помех (активных или пассивных) на измерения РЛС, а также для имитации помех каналам связи.

9. *Модель измерений РЛС* имитирует измерения РЛС (дальности угловых координат доплеровских частот и др.) того или иного типа (активные или пассивные РЛС, доплеровские или угломерные и т.д.) в локальной системе координат с привязкой к локальной шкале времени.

10. *Модель каналов связи* имитирует передачу данных (координатах измерительных пунктов, меток времени, измеренных параметров движения целей с привязкой к локальному времени и других данных) от измерительных пунктов к ЦСОУ с имитацией возможных помех каналам связи.

11. *Модель ЦСОУ* предназначена для моделирования алгоритмов обработки информации (данных), поступающих по каналам связи от измерительных пунктов, и формирования целеуказаний средствам поражения.

Успешное решение задач обнаружения и сопровождения объектов наблюдения возможно только при хорошо организованном автоматизированном функционировании территориально распределенных радиолокационных систем (например, пассивных угломерных), дополненных аппаратурой потребителей СНС ГЛОНАСС/GPS, функциональных дополнений СНС и необходимыми каналами связи. Создание подобных систем позволит решить важнейшую задачу наблюдения наземных и воздушных целей

в условиях их сильной динамики и интенсивного ведения противником радиоэлектронной борьбы и тем самым радикально повысить эффективность боевых действий авиации.

Список литературы

1. Канащенков А.И., Меркулов В.И., Самарин О.Ф. Облик перспективных бортовых радиолокационных систем. Возможности и ограничения. М.: ИПРЖР, 2002.

2. Саблин В.Н. Разведывательно-ударные комплексы и радиолокационные комплексы наблюдения земной поверхности. М.: ИПРЖР, 2002.

3. Канащенков А.И., Меркулов В.И., Самарин О.Ф. Многопозиционные радиолокационные системы воздушного базирования. Возможности и ограничения // Радиотехника. 2005. № 9.

4. Черняк В.С. Многопозиционная радиолокация. М.: Радио и связь, 1993.

5. Григорьев Ф.Н., Кузнецов Н.А., Серебровский А.П. Управление наблюдением в автоматических системах. М.: Наука, 1986.

6. Малышев В.В., Красильщиков М.Н., Карпов В.И. Оптимизация наблюдения и управления летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1989.

7. Харисов В.Н., Аникин А.Л. Оптимальное управление наблюдением в задачах обнаружения сигналов // Радиотехника. 2004. № 7.

8. Канащенков А.И., Меркулов В.И., Самарин О.Ф. Облик перспективных бортовых радиолокационных систем. Возможности и ограничения. М.: ИПРЖР, 2002.

9. Авиационные системы радиуправления / В.И.Меркулов, В.В.Дрогалин, А.И.Канащенков [и др.]. Т. 1. Принципы построения систем радиуправления. Основы синтеза и анализа / под ред. А.И. Канащенкова и В.И. Меркулова. М.: Радиотехника, 2003.

Акиншин Руслан Николаевич, д-р техн. наук, доц., начальник отдела, rakinshin@yandex.ru, Россия, Москва, СПП РАН,

Шевченко Дмитрий Владимирович, начальник отдела, shevdy1975@gmail.com, Россия, Москва, Управление интеллектуальной собственности, военно-технического сотрудничества и экспертизы поставок вооружения и военной техники Министерства обороны Российской Федерации,

Чернышков Александр Игоревич помощник начальника отдела, niri-oraii@mail.ru, Россия, Пенза, Пензенский артиллерийский инженерный институт

THE GENERALIZED MODEL SPATIALLY DISTRIBUTED SYSTEMS OF INFORMATION PROCESSING

R.N. Akinshin, V.D. Shevchenko, A.I. Chernyshkov

The features of the construction of geographically distributed information processing systems based on radar systems. Proposed to ensure synchronization of the process of collaborative management.-Dasha measurements in the center to use every means of obtaining information about the navigation equipment of consumers of GLONASS/GPS. Formalized mathematical model of information processing in these systems. The structure of the simulation model.

Key words: distributed systems of information processing, simulation model

Akinshin Ruslan Nikolaevich, doctor of technical sciences, docent, head of Department, rakinshin@yandex.ru, Russia, Moscow, SPP, RAS,

Shevchenko Dmitry Vladimirovich, head of division, shevdy1975@gmail.com, Russia, Moscow, Department of intellectual property, military-technical cooperation and expertise of the supply of weapons and military equipment of the Ministry of defence of the Russian Federation,

Chernyshkov Alexander Igorevch, assistant head of Department, niri-opaii@mail.ru, Russia, Penza, Penza artillery engineering Institute

УДК 004.274

КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ РЕКОНФИГУРИРУЕМЫХ ОТКАЗОУСТОЙЧИВЫХ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ

М.А. АНТОНОВ

Рассмотрена концепция реконфигурируемых отказоустойчивых цифровых систем обработки данных. Представлена структурная схема цифровой реконфигурируемой системы.

Ключевые слова: цифровые реконфигурируемые системы, безотказность, саморемонт, мажоритарный процессор, конечный автомат.

В настоящее время задаче построения быстродействующих цифровых вычислительных систем отводится значительная роль в науке и технике. Это связано с необходимостью обрабатывать потоки цифровых данных в формате реального времени. Согласно [1, 2] наиболее выгодным выходом является многопроцессорные системы с параллельным выполнением операций над данными.

Такое решение приводит к усложнению аппаратных средств и программного обеспечения, что в свою очередь делает указанные системы менее надёжными.

Поскольку в теории безотказности систем известны подходы активного и пассивного резервирования элементов, то в применении к сложным, многопроцессорным системам обработки данных пассивное резервирование программных и аппаратных средств приведёт к большей надёжности, но также и к большим габаритам, что неприемлемо.

Поэтому, целесообразно применять принцип активного резервирования и так называемого саморемонта [3].

Рассматривая концепцию активного резервирования и саморемонта цифровых вычислительных систем, стоит обратиться к упрощённой структурной схеме, приведённой на рис.1.



Рис. 1. Упрощённая структурная схема цифровой реконфигурируемой системы

Предполагается, что существует система обработки данных (рис.1), состоящая из некоторого устройства, выдающего данные на шину обрабатываемых данных (не показано), процессора обработки данных и Мажоритарного процессора, объединённого с процессором обработки данных при помощи трёх шин:

- шины контроля данных;
- шины для идентификации состояния, требующего реконфигурации;
- шины управления процессом реконфигурации.

Шина контроля данных предусмотрена для слежения за текущими данными, для обнаружения возможных ошибок.

Шина идентификации состояния, требующего реконфигурации, выполняет функцию передачи мажоритарному процессору данных о конфигурации вычислительной системы, а также функцию записи в процессор обработки данных новых сведений о конфигурации системы.

Шина управления процессом реконфигурации предназначена для случая цифровой системы обработки данных, организованной по принципу конечных автоматов, с использованием программируемых логических ин-

тегральных схем (ПЛИС). Для обоснования следующих рассуждений необходимо привести структурную схему конечного автомата Мили, которая изображена на рис. 2.

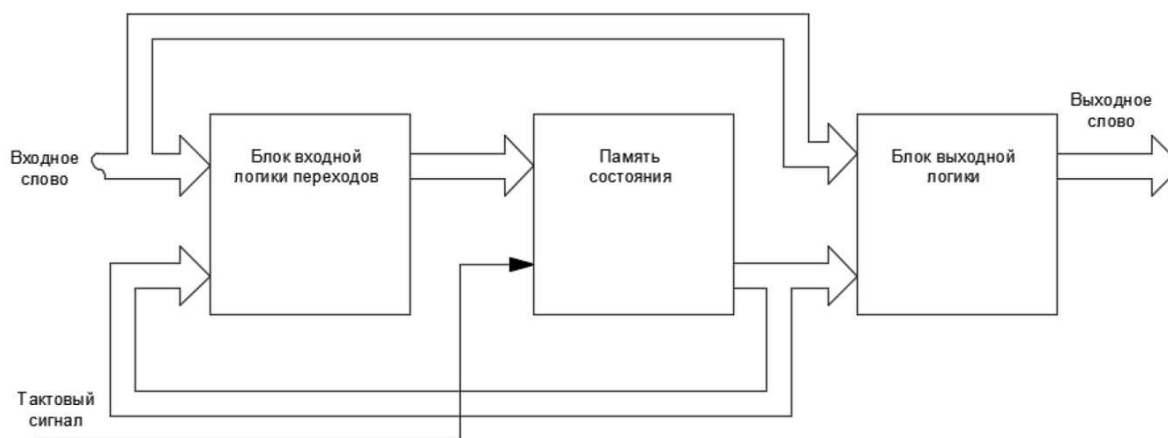


Рис. 2. Обобщённая структурная схема конечного автомата

Известно, что любой не примитивный конечный автомат имеет, в общем случае, три блока:

- блок логики переходов;
- блок памяти;
- блок выходной логики.

Описание конечного автомата Мили может быть представлено двумя равенствами (1), где $a(t)$ – состояния автомата, $x(t)$ – входные символы. Из равенств (1) следует, что алгоритм работы автомата зависит от функций переходов S и функций выходной логики L . Такой автомат является детерминированным, и жёстко выполняет свою задачу.

$$\left. \begin{aligned} a(t+1) &= S(a(t), x(t)); \\ y(t) &= L(a(t), x(t)). \end{aligned} \right\}$$

В теории цифровых автоматов существует допущение, что возможно создать цифровой автомат с недетерминированными множествами S и L , так что каждый переход и каждая текущая функция выхода могла бы выбираться из подмножества некоторого алфавита, то есть происходило бы вмешательство в структуру автомата.

В таком случае, процессор обработки данных, построенный на основе конечного автомата, выполняет задачу обработки данных, заложенную в блоках логики (например производит фильтрацию цифровых данных). В некоторый момент возникает необходимость реконфигурировать систему обработки данных с целью выполнения иной задачи. Фактически это значит, что необходимо заменить всю логику работы автомата, и в мазоритарном процессоре определено подмножество переходов и функций выходов, позволяющее эту задачу реализовать, «перестроить» конечный автомат под необходимую задачу.

В этом случае возможно реализовать цифровую вычислительную систему, построенную по принципу конечных автоматов, но в то же время заложить возможность реконfigurирования, тем самым получить конечный автомат, способный выполнять множество задач.

В ином случае стоит рассматривать вынужденную реконfigurацию цифровой системы в случае отказа аппаратной части.

Под реконfigurированием аппаратного уровня понимается следующее: пусть существует шина данных, разрядности k , при этом занятых в работе шинного интерфейса линий, $k - n$, где n – некоторое число зарезервированных, на случай отказа, линий. В случае отказа линии шинного интерфейса, происходит передача функции отказавшей линии одной из зарезервированных.

Как уже было сказано выше, существует схема цифровой реконfigurируемой системы (см.рис. 1), в состав которой входит ведущий мажоритарный процессор и ведомый процессор обработки данных, организованный по принципу конечного автомата. Пусть происходит ситуация выхода из строя ячейки памяти состояния. В этом случае мажоритарный процессор при анализе данных обнаруживает ошибку, далее, проводит анализ ошибки, запрашивая состояния структуры автомата по шине идентификации состояния. При выявлении сбоя ячейки, мажоритарный процессор по шине идентификации передаёт код, позволяющий создать обходной путь, вокруг пострадавшей области памяти, а шина управления выдаёт код, обозначающий, в какой блок структуры автомата происходит вторжение с целью реконfigurирования.

Аналогичным образом складывается поведение системы в случае необходимости реконfigurации программного обеспечения, то есть смены структуры блоков логики.

Итак, рассмотренная концепция позволяет реализовать возможности реконfigurации и процедуры саморемонта цифровых вычислительных систем.

Также стоит отметить, что структурная схема, которая приведена на рис. 1, может наращиваться. В этом случае мажоритарный процессор становится общим устройством для каждого процессора обработки данных в многопроцессорной системе. Идентификация запросившего реконfigurацию процессора может проходить при помощи процедуры шифрации сигналов, поданных микропроцессорами обработки данных на устройство конвертации номера входа, в двоичный код номера микропроцессора.

Итак, рассмотрена концепция создания реконfigurируемых безотказных цифровых вычислительных систем. Представлена упрощённая структурная схема цифровой вычислительной системы, позволяющая производить процедуру саморемонта и реконfigurации аппаратных и программных средств.

Список литературы

1. Додонов А.Г., Кузнецова М.Г., Горбачик Е.С. Введение в теорию живучести вычислительных систем / отв. ред. В.А. Гуляев. Киев: Наукова думка, 1990. 184 с.
2. Авиженис А. Отказоустойчивость - свойство, обеспечивающее постоянную работоспособность цифровых систем // ТИИЭР. 1978. № 10. Т. 66. С. 5 - 25.
3. Колосков В.А. Принципы саморемонта отказоустойчивой микроконтроллерной сети // Вибрационные машины и технологии. II-я Научно-техническая конференции. Курск: Курский государственный технический университет, 1995. С. 121 - 125.

Антонов Максим Александрович, магистрант, elarkin@mail.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет

CONCEPT OF CONSTRUCTION OF RECONFIGURABLE FAULTY-DIGITAL DIGITAL SYSTEMS

M.A. Antonov

The concept of reconfigurable fault-tolerant digital data processing systems was considered. A block diagram of the digital reconfigurable system was presented.

Key words: digital reconfigurable systems, faultlessness, self-repair, majority processor, finite state machine.

Antonov Maxim Aleksandrovich, master, elarkin@mail.ru, Russia, Tula, Tula State University

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К ХАРАКТЕРИСТИКАМ КОМПЛЕКСОВ СРЕДСТВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ ОБРАЗЦОВ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Р.Н. Акиншин, Ю.И. Вареница, С.М. Цыбин

Предложена схема взаимосвязи формальных и неформальных процедур, используемых при программном планировании развития испытательной базы (ИБ). Рассмотрены принципы построения динамического графа целей и задач ИБ. Разработана методика анализа зависимостей, имеющих более общую структуру, чем иерархическая, и допускающих существование взаимосвязанных показателей.

Ключевые слова: испытательная база; средства обеспечения испытаний; квазиерархические модели.

Основными характеристиками испытательной базы (ИБ), которые находят отражение в плановых документах, являются: номенклатура, стоимость, количество и сроки поставки средств обеспечения испытаний. Для определения этих характеристик используются следующие формальные процедуры: оценка стоимости образцов сложных технических систем (СТС); определение требований к точности прогноза характеристик средств обеспечения испытаний; определение необходимого уровня характеристик комплексов средств обеспечения испытаний (СОИ); выбор варианта состава испытательной базы и др. [1].

На рис. 1 представлена схема взаимосвязи некоторых формальных и неформальных процедур, используемых при программном планировании развития ИБ. Из этой схемы видно, что важной задачей, возникающей при программно-целевом планировании развития ИБ, является задача обоснования требований к характеристикам комплексов СОИ. Её решение предшествует основному этапу планирования развития ИБ – определению состава СОИ и стратегии их размещения на различных регионах в программный период.

Укрупненная математическая модель ИБ позволяет определять её эффективность на этапе долгосрочного планирования в условиях неполной и неточной информации. Вторая задача, использующая в виде исходной информации результаты решения первой задачи, применительно к измерительному комплексу достаточно полно решена в ряде работ [2-3].

Особенности разрабатываемой укрупненной математической модели ИБ определяются особенностями долгосрочного планирования её развития:

– перспективы развития ИБ определяются перспективами развития систем СТС, поступающих на испытания в программный период;

– исходная информация, используемая для разработки долгосрочных планов развития ИБ, является, как правило, неполной и "расплывчатой": перечень перспективных образцов СТС, их характеристики зачастую подвергаются корректировке;

– существенную роль играет субъективный фактор, так как в условиях неполной информации и отсутствия необходимой статистики возрастает роль экспертов.

Указанные особенности делают целесообразным описание субъективных и качественных оценок различных параметров модели в виде расплывчатых величин с помощью теории нечётких множеств [4-5]. Это позволяет, в частности, ввести понятие достоверности принимаемых решений, которая определяется достоверностью исходной информации и алгоритмами её обработки.

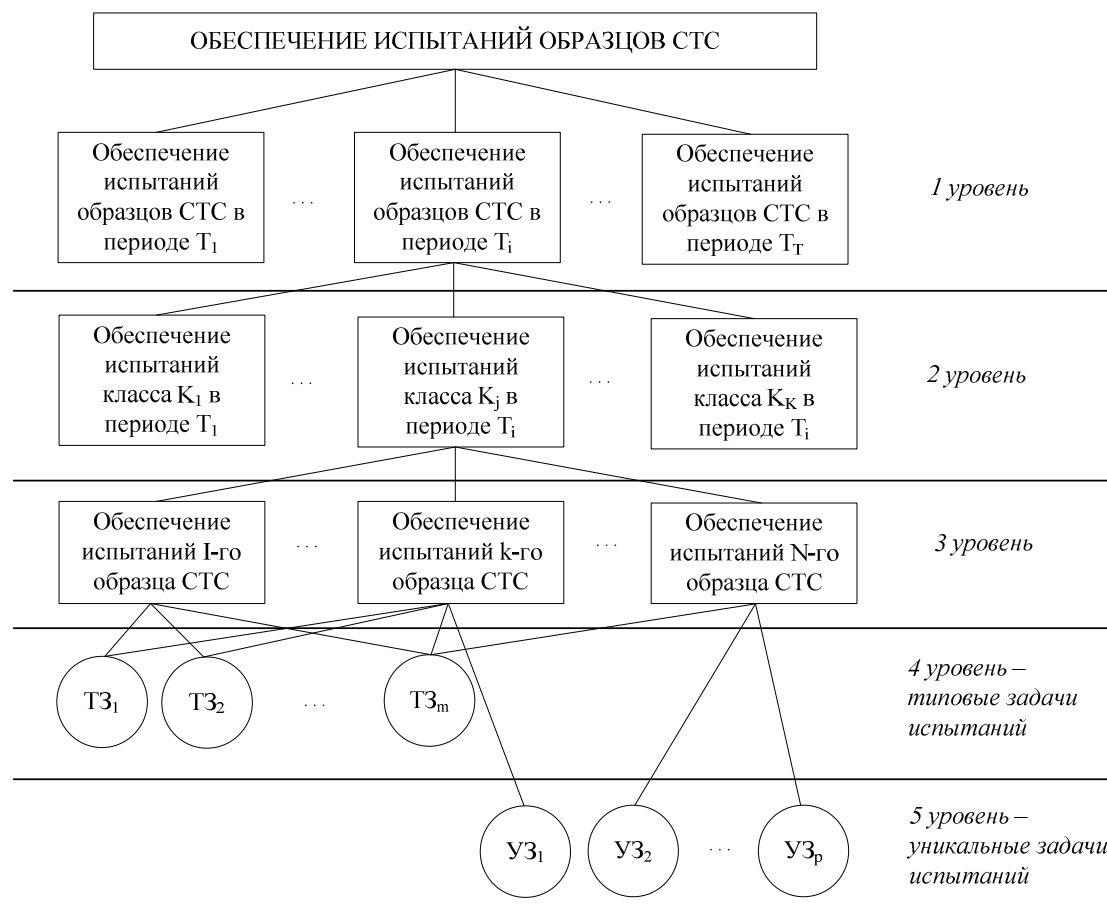


Рис. 1. Схема взаимосвязи целей и задач ИБ

Испытательная база характеризуется рядом показателей: точностью, достоверностью оценок, временем обработки результатов испытаний, длительностью проведения испытаний [1, 2] и т.д. Отмеченные выше особенности процесса долгосрочного планирования, отсутствие на данном этапе моделей испытываемых систем вооружения и средств обеспечения

испытаний ограничивают возможности детального исследования указанных показателей с помощью хорошо разработанных вероятностных методов анализа сложных систем [6], и делают необходимой разработку специального подхода, использующего нечёткие множества. Одной из задач работы является описание эффективности ИБ в рамках этого подхода с целью использования полученных результатов для долгосрочного планирования развития ИБ.

Для исследования эффективности ИБ как функции от характеристик комплексов СООИ предлагается её квазиерархическая модель (КИМ). Элементами модели являются показатели качества испытаний отдельных образцов СТС, показатели качества решения отдельных задач испытаний, характеристики комплексов СООИ, а также некоторые промежуточные показатели, вводимые для удобства построения и последующего анализа модели (см.рис. 1).

При этом показателем качества решения отдельной задачи испытаний образца вооружения (оценки некоторой характеристики образца) может служить величина, обратно пропорциональная дисперсии оценки этой характеристики.

Показатель качества испытаний отдельного образца вооружения определяется как наименьшее из значений показателей качества решения отдельных задач испытаний образца вооружения, взвешенных с некоторыми коэффициентами. Показатель эффективности ИБ в некоторый период определяется как наименьшее из взвешенных с некоторыми коэффициентами значений показателей качества испытаний отдельных образцов вооружения в данный период.

Параметрами модели являются расплывчатые характеристики перспективных образцов СТС, испытания которых планируются в программном периоде, расплывчатые коэффициенты важности испытаний отдельных образцов и др.

Между элементами КИМ существуют определенные связи, формализуемые далее в виде специальных кусочно-линейных функций с насыщением, которые могут содержать расплывчатые параметры. Данные функции определяются либо на основе известных аналитических соотношений, либо с помощью вспомогательных имитационных моделей, либо экспертным путем [6]. В отличие от иерархических моделей [7] здесь допускаются связи между элементами как несмежных уровней, так и между элементами внутри одного уровня. По этой причине модели данного класса названы в [8] квазиерархическими.

В квазиерархической модели ИБ на верхнем уровне находится показатель эффективности ИБ, на нижнем – технические характеристики комплексов СООИ. Поскольку параметрами этой модели являются расплывчатые величины (неточно известные характеристики перспективных об-

разцов и т.д.), то различные значения характеристик комплексов СОИ с различной достоверностью обеспечат достижение одного и того же значения показателя эффективности ИБ.

Основной задачей, решаемой при планировании испытаний, является следующая задача **A**: определить минимальные значения характеристик комплексов СОИ, обеспечивающие с заданной достоверностью достижение заданного значения показателя эффективности ИБ.

При решении данной задачи полагаются заданными:

1. Перечень образцов СТС, поступающих на испытания в программном периоде.
2. Характеристики целей, для борьбы с которыми создается вооружение.
3. Моменты программного периода, в которые выходят на испытания образцы В и ВТ.
4. Основные характеристики образцов СТС, используемые как параметры модели.
5. Состояние комплексов СОИ в начальный момент программного периода, т.е. номенклатура и значения характеристик комплексов СОИ.
6. Структура квазиерархической модели ИБ.
7. Функции связи между элементами модели.
8. Коэффициенты важности образцов СТС и значения некоторых других параметров модели.

Часть исходных данных, указанных в пп. 2, 4, 5, 7, 8, может быть задана в расплывчатом виде. В связи с этим решается задача **B** – частный случай задачи **A** при нерасплывчатых исходных данных и функциях связи стандартного вида, решается более общая задача **D** при расплывчатых исходных данных и функциях связи стандартного вида. Для решения этих задач предлагается также метод определения коэффициентов важности объектов по результатам расплывчатых экспертных оценок (задача **E**) и метод вычисления функций от расплывчатых переменных (задача **C**).

Рассмотрим принципы построения динамического графа целей и задач ИБ (см.рис. 1). Пусть $\bar{T} = \{1, 2, \dots, T\}$ есть плановый период, на глубину которого планируется развитие ИБ. При этом глобальная цель ИБ (нулевой уровень графа целей и задач) – обеспечение испытаний образцов СТС во всем периоде T – достигается путем решения задач обеспечения испытаний в каждом интервале ΔT планового периода T .

Поскольку во всех плановых и программных документах динамика изменения технико-экономических характеристик ИБ отражается с интервалом в один календарный год, то считаем $\Delta T = 1$ год. Таким образом, в графе целей и задач ИБ целям 1-го уровня соответствуют совокупности задач обеспечения испытаний СТС в каждом году планового периода. Достижение целей 1-го уровня осуществляется решением задач испытаний и оценки классов образцов.

Разделение всей совокупности образцов, планируемых к испытаниям в T -периоде, производится по принципу выявления общих типовых задач ИБ при испытаниях, методов их решения, однотипности состава средств обеспечения испытаний. Классы задач ИБ – обеспечение испытательных классов образцов – составляют 2-й уровень графа целей и задач. Поскольку каждому образцу СТС при его испытаниях присущи какие-то особенности, влияющие на состав средств технологического обеспечения испытаний (например, требования к характеристикам трасс полета мишени, составу её бортовой аппаратуры и т.д.), 3-му уровню графа целей и задач ИБ соответствуют задачи обеспечения испытаний конкретного образца СТС.

В связи с тем, что испытания образцов СТС продолжаются в течение длительного времени и предъявляют повышенные требования к характеристикам ИБ. Анализ методов и процедур испытаний уникальных образцов СТС указал на возможность выявления типовых процедур при испытаниях таких образцов, что используется при декомпозиции задач ИБ, в виде типовых задач испытаний и оценки.

4-му уровню графа целей и задач соответствуют типовые задачи испытаний и оценки, учитывающие специфику каждого испытываемого образца. В графе на рис. 1 приведены некоторые типовые задачи ИБ, соответствующие оценке основных характеристик СТС, являющиеся типовыми и требующие привлечения специальных технологических средств, задачи развития которых представлены на 5-м уровне графа.

Сложность современных образцов СТС, высокая стоимость создания опытных образцов для испытаний, невозможность имитации условий боевого применения таких образцов обусловили разработку специального опытно-теоретического метода испытаний и оценки [1-3], где наряду с натурными экспериментами широко используется моделирование. При этом натуральный эксперимент в большинстве случаев является инструментом для калибровки математических моделей и оценки частных характеристик испытываемых образцов. Это обстоятельство привело к «стандартизации» испытательных процедур и уменьшению количества натуральных экспериментов, обеспечиваемых ИБ при испытаниях.

Анализ испытаний образцов СТС позволяет определить множество типовых экспериментов с устойчивым составом привлекаемых средств ИБ. Кроме того, типовые эксперименты в графе целей и задач могут быть поставлены в соответствие задачам ИБ 4-го уровня. Состав средств ИБ, задействованных в типовом натурном эксперименте, обладает определенными техническими характеристиками и в условиях известного метода испытаний определяет качество оценки типовой характеристики испытываемого образца. Такая интерпретация состава ИБ позволяет представить её в виде множества типовых модулей, каждый из которых описывается характеристиками средств ИБ, привлекаемых к натурному эксперименту.

Изложенные принципы построения графа целей и задач ИБ позволяют представить весь граф в виде совокупности отдельных фрагментов, соответствующих задачам обеспечения испытаний классов или образцов СТС и включающих в себя отдельные типовые модули, характеризующие состав технологических средств ИБ.

Если степень выполнения каждой из указанных задач или достижения целей будет количественно описана показателем, то данный граф иллюстрирует зависимость показателя эффективности ИБ от показателей качества решения отдельных задач испытаний и характеристик комплексов СОИ. Для выявления структуры этой зависимости перейдем к рассмотрению ориентированного графа, отображающего граф целей и задач ИБ. Ориентированный граф схематично представлен на рис. 2.

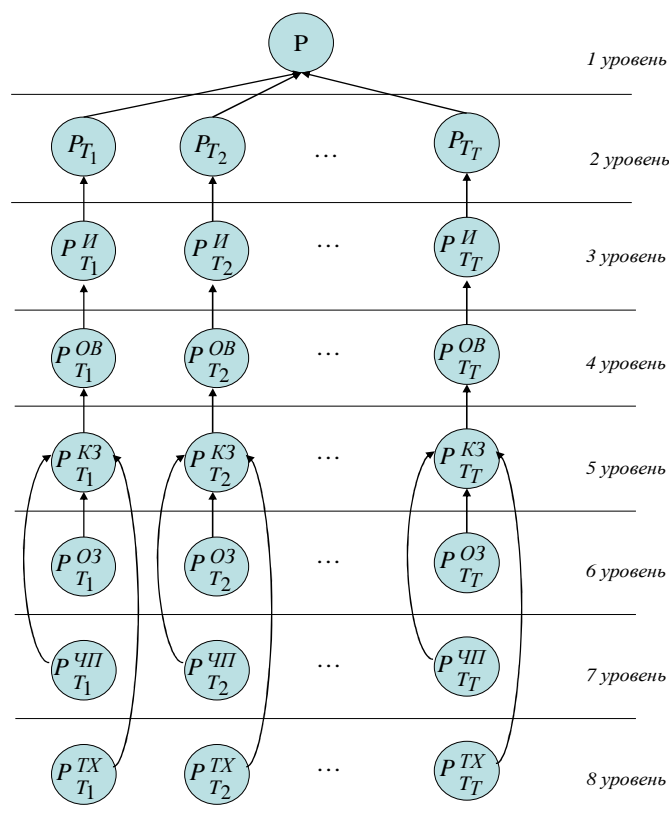


Рис. 2. Схема графа целей и задач ИБ

Вершинами этого графа являются:
 на уровне «1» – показатель эффективности ИБ;
 на уровне «2» – показатели эффективности ИБ в каждом году планового периода T ;
 на уровне «3» – показатели эффективности ИБ при испытаниях и оценке класса образцов;
 на уровне «4» – показатели качества испытаний отдельных образцов вооружения;

на уровне «5» – показатели качества решения классов задач испытаний (оценка точностных характеристик, оценка потенциала, оценка помехозащищенности);

на уровне «6» – показатели качества решения отдельных задач испытаний;

на уровне «7» – частные показатели качества решения отдельных задач испытаний;

на уровне «8» – технические характеристики комплексов ИБ, влияющие на качество оценки характеристик испытываемых образцов.

Особенностью данной структуры является наличие связей как между элементами внутри одного уровня, так и между элементами не смежных уровней. Например, взаимосвязаны требования к точностным характеристикам измерительного комплекса и геометрическим характеристикам мишеней, числом натуральных экспериментов; требования по канальности измерительного комплекса и числом целей в налете. Указанная особенность вынуждает рассматривать структуры более общие, чем иерархические.

Совокупность показателей эффективности, качества решения задач испытаний, а также характеристик комплексов СОИ образует множество $Y = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_n\}$, элементы которого обладает численными характеристиками, образующими вектор $y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$. При этом $Y_i \sim y_i$. Между элементами множества Y существует бинарное отношение R «непосредственно зависеть от»: $Y_i R Y_j$ тогда и только тогда, когда значение y_i непосредственно зависит от значения y_j . Это бинарное отношение удобно представлять в виде ориентированного функционально взвешенного графа [3] $G = (Y, U)$ с множеством вершин Y и множеством дуг $U = \{(Y_i, Y_j) / Y_i R Y_j; Y_i, Y_j \in Y\}$ (рис. 3). Каждой вершине $Y_i \in Y$ графа G может быть поставлена в соответствие функция $f_i(y_{i_1}, \dots, y_{i_S})$ зависимости характеристики y_i , этой вершины от характеристик вершин, входящих в множество $\{Y_{i_1}, Y_{i_2}, \dots, Y_{i_S}\} = \Gamma Y_i$:

$$y_i = f_i(y_{i_1}, \dots, y_{i_S}).$$

Здесь функции f_i , носят название функций связи. Если в графе G существуют пути из вершины Y_i , в вершину Y_j , и из вершины Y_j , в вершину Y_i , то характеристики y_i и y_j зависят друг от друга: изменение одной из них приводит к изменению другой, что, в свою очередь, приведет к изменению первой и т.д.

Наличие таких связей, как указывалось выше, приводит к необходимости разработки методов анализа зависимостей, имеющих более общую структуру, чем иерархическая [5], и допускающих существование взаимосвязанных показателей (образующих бикомпоненты [7, 8] графа G) и зависимостей величин одних показателей от величины других показате-

лей или характеристик, расположенных на несмежных уровнях. Общая структура таких зависимостей приведена на рис. 3 и названа квазиерархической [5]. Обозначим через $G_i = (V_i, U_i)$, $i=1, r$, все бикомпоненты функционально-взвешенного графа G (на рис. 3 нетривиальные бикомпоненты обведены пунктиром).

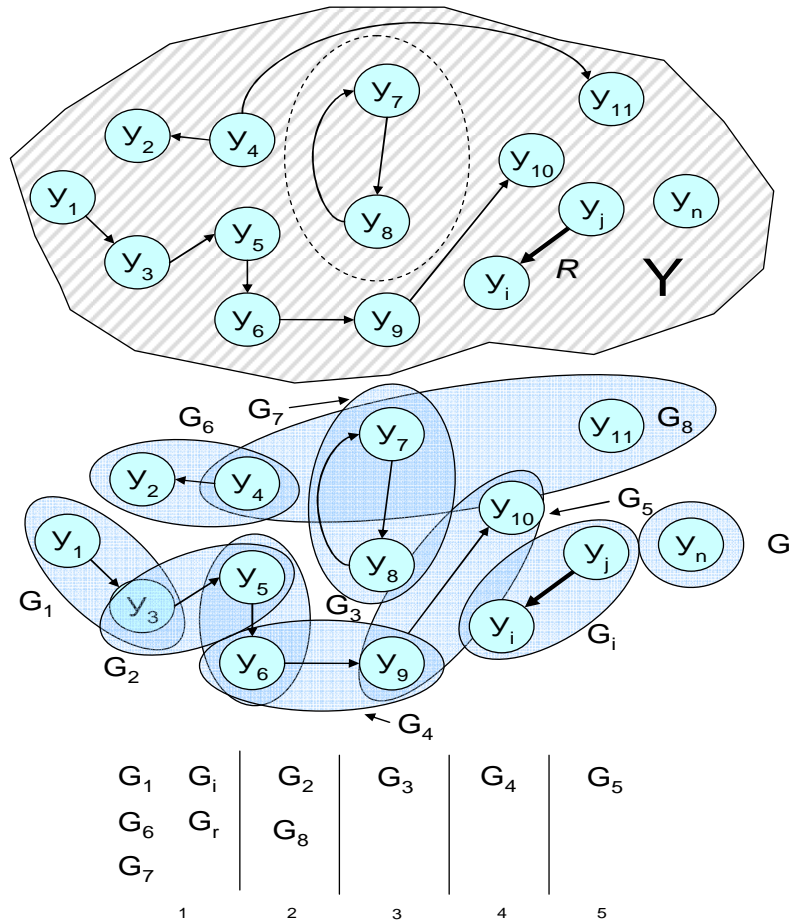


Рис. 3. Схема ориентированного функционального взвешенного графа

При этом, если вершина $Y_j = Y$ не взаимосвязана ни с одной из других вершин графа G , то соответствующая ей бикомпонента $G'_j = (V'_j, U'_j)$ называется тривиальной и определяется соотношением $V'_j = \{Y_j\}$, $U'_j = 0$. На множестве всех бикомпонент графа G естественным образом вводится частичный порядок «>»: по определению, $G_i = G_j$ тогда и только тогда, когда вершины множества V_j достижимы из вершин множества V_i . Это позволяет иерархически упорядочить бикомпоненты графа G и ввести формальное определение уровней модели. Обозначим через L_i , множество бикомпонент, лежащих на уровне i .

При этом множества L_1, \dots, L_s определяются рекуррентно следующим образом:

$$\begin{aligned}G_i \in L_1 &\Leftrightarrow \exists G_k : G_k \succ G_i, k = 1, r; \\G_i \in L_2 &\Leftrightarrow \exists G_k \in L_1 : G_k \succ G_i, k = 1, r; \\&\dots \\G_i \in L_s &\Leftrightarrow \exists G_k \in \bigcup_{p=1}^{s-1} L_p : G_k \succ G_i, k = 1, r.\end{aligned}$$

Число s уровней определится из условия

$$L_1 \cup L_2 \cup \dots \cup L_{s-1} \cup L_s = \{G_1, G_2, \dots, G_r\} \neq L_1 \cup L_2 \cup \dots \cup L_{s-1}.$$

(На рис. 3 $s = 5$). Заметим, что «физическое» выделение уровней в модели на рис. 2 совпадает с определенным выше формальным выделением.

Если элементы функционально-взвешенного графа являются отображениями показателей и характеристик, описывающих элементы реальной сложной системы, а функции связи f_i отображают взаимосвязь между элементами этой системы, то такой граф, по существу, является моделью системы.

Таким образом, в целях долгосрочного планирования развития испытательной базы сформулирована задача обоснования требований к техническим характеристикам комплексов средств обеспечения испытаний учитывающая неполноту исходной информации. Предложена квазиерархическая модель испытательной базы, устанавливающая связь между показателем эффективности испытательной базы и основными характеристиками комплексов средств обеспечения испытаний.

Список литературы

1. Основы военно-технической политики РФ на период до 2015 года и дальнейшую перспективу. М.: МО РФ, 2003. 28 с.
2. Методологические основы испытаний сложных систем / А.И.Иванов, А.С.Иванющенко, Н.Н.Козлов, В.С.Михайлов [и др.]. Кн. II. Автоматизированные информационно-управляющие системы. М.: Технологии информационных систем, 2002.
3. Иванющенко А.С., Козлов Н.Н., Соколюк В.Л. Методологические основы испытаний сложных систем. Кн. I. Математическое обеспечение испытаний летательных аппаратов. М.: Технологии информационных систем, 2002.
4. Вешан Р., Заде Л. Принятие решений в расплывчатых условиях // Вопросы анализа и процедуры принятия решений. М.: Мир, 1976.
5. Саати Т.Д. Взаимодействия в иерархических системах // Известия АН СССР. Техническая кибернетика. 1980. № I.
6. Шаракшанэ А.С., Железнов И.Г. Испытания сложных систем. М.: Высшая школа, 1974.

7. Месаревич М., Мако Д., Такахара И. Теория иерархических многоуровневых систем. М.: Мир, 1973.

8. Куренков Н.И., Мыркин А.А., Роганов А.А. Метод оценки эффективности систем сбора и обработки информации // Сборник научных трудов института. М.: 3 ЦНИИ МО РФ, 1997.

Акиншин Руслан Николаевич, д-р техн. наук, доц., начальник отдела, rakinshin@yandex.ru, Россия, Москва, СПП РАН,

Вареница Юрий Иванович, нач. отдела, wuiv@yandex.ru, Россия, Железнодорожный, АО НИТИ,

Цыбин Станислав Михайлович, ведущий инженер, inf@cdbae.ru, Россия, Тула, АО «Центральное конструкторское бюро аппаратостроения»

THE DEFINITION OF THE PERFORMANCE REQUIREMENTS OF THE FACILITIES FUNDS ENABLE TESTING OF COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS

R.N. Akinshin, Yu.I. Varenitsa, S.M. Tsybin

The proposed scheme of interconnection of formal and informal procedures, is-used during software development planning, testing base. Banded version of the principles of the dynamic count of the goals and objectives of IB. The method of dependency analysis with a more General structure than ierarhica sky and allowing the existence of interrelated indicators.

Key words: test base, means of testing, quasihierarchical model.

Akinshin Ruslan Nikolaevich, doctor of technical sciences, docent, head of Department, rakinshin@yandex.ru, Russia, Moscow, SPP RAS,

Varenitsa Yuri Ivanovich, head of department, wuiv@yandex.ru, Russia, Zheleznodorozhny, JSC FILAMENT,

Tsybin Stanislav Mikhailovich, lead engineer, inf@cdbae.ru, Russia, Tula, JSC CDBAE

КОНСТРУКЦИЯ СИЛЬФОННЫХ КОМПЕНСАТОРОВ

С.А. Глебович

Рассмотрены конструктивные особенности сильфонных компенсаторов и их применение в устройстве трубопровода. Цель данного исследования выяснить, как устроен сильфонный компенсатор и какие особенности его работы. Проблема компенсации растяжения и сжатия труб, подвергающихся перемещению под воздействием температуры, давления и внешних источников, на протяжении многих лет была предметом пристального внимания. Более простым методом решения трудности считается использование природной компенсации за счёт гибкости самого трубопровода с внедрением при всем этом компенсирующих элементов. Сильфонные компенсаторы успешно применяются при надземных и канальных прокладках трубопроводов.

Ключевые слова: трубопровод, компенсатор сильфонный, компенсация гибкости, компенсирующие элементы, деформация.

Сильфонный компенсатор – приспособление, состоящее из одного либо нескольких сильфонов и арматуры. Сильфонные компенсаторы способны поглощать и уравнивать условные движения определённой величины и частоты, образующиеся в герметично объединяемых элементах трубопровода, и проводить в данных условиях жидкости и пар (рис. 1). Универсальность этого вида компенсаторов содействует действенному их использованию в промышленности [1].

Применение сильфонных компенсаторов обеспечивает надёжную и эффективную защиту трубопроводов от статических и динамических нагрузок, возникающих при деформациях, вибрации и гидроударе [3].

Главным элементом сильфонного компенсатора считается непроницаемая гибкая гофрированная оболочка – сильфон. Сильфон владеет способностью растягиваться, сжиматься, изгибаться под действием наружных сил и при всем этом оставаться герметичным. При производстве сильфонных компенсаторов употребляются такие материалы, как сталь 08X18H10T и 10X17H13M2T, титан BT1-0, инконель, инколой. Проводимыми средами являются пресная и морская вода, нефть и нефтепродукты, пар, газы, криогенные продукты [5, 9].

Физико-механические характеристики металлической ленты играют важнейшую роль в обеспечении надёжности сильфона, поэтому для изготовления сильфона используется стальная лента из нержавеющей стали с гарантированными химическими и механическими качествами. Воздействие как рабочей, так и окружающей среды может быть предпосылкой неудачного внедрения сильфонов из-за малой стойкости материала сильфона, поэтому необходимо обратить особое внимание на выбор материала сильфона [6].

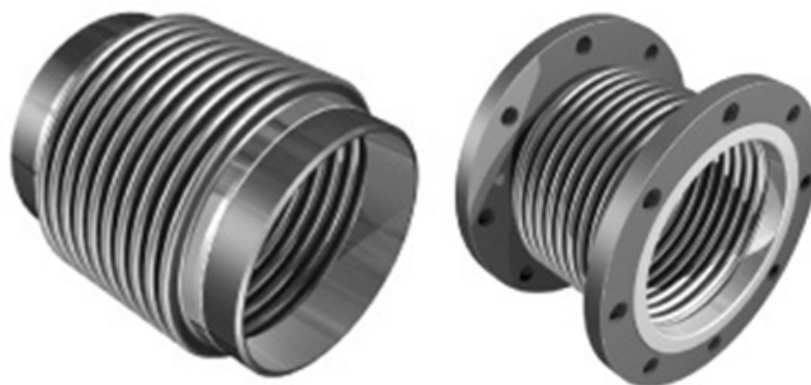


Рис. 1. Виды сильфонных компенсаторов

Самой ответственной частью системы компенсатора считается сильфон. Материалом для его производства служит нержавеющей высококачественная сталь, придающая изделию высшую коррозионную и температурную стойкость. Сначала тонкие листы стали свариваются продольно, потом на приобретенном цилиндре формируются гофры. Для обеспечения наибольшей гибкости, стены сильфона делают многослойными. Эта система увеличивает противодействие давлению, сохраняя при всем этом лёгкость деформирования [9].

Остальные элементы конструкции компенсатора, присоединительная и ограничительная арматура, выполняются из углеродистых сталей.

Конструктивно сильфонные компенсаторы бывают осевыми (универсальными), разгруженными, сдвиговыми и поворотными. Любое конструктивное выполнение современных сильфонных компенсаторов должно гарантировать:

- полную компенсацию осевых движений трубопровода;
- необходимую жёсткость и соосность сильфонов;
- защиту сильфонов от поперечных усилий и изгибающих факторов, образующихся при вероятных прогибах трубопровода в связи просадки грунта либо направляющих опор, также при погрузочно-разгрузочных работах и монтаже;
- защиту сильфонов от крутящих моментов, деформаций при растяжении и от нагрузок.

Сильфонный компенсатор может устанавливаться в любом месте трубопровода при любом методе прокладки, не просит возведения особых камер и обслуживания на протяжении длительного срока эксплуатации. Срок их службы соответствует сроку эксплуатации трубопроводов [4, 9].

Способность компенсатора воспринимать деформации определяется его назначенной наработкой, описывающей какое количество циклов, и с какой амплитудой сильфонный компенсатор воспринимает без появления повреждений.

Существующей проблемой является выход из строя компенсаторов по разным причинам. Главная задача сделать правильный выбор типа компенсаторов и верно сделать монтаж приспособлений на трубопроводе. Подбор делается на основе проекта расположения трубопроводов и определения направления и величины их движений вследствие действия температуры и силовых нагрузок. Начальными критериями при всем этом считаются допустимость соответственных усилий на опоры, площадь участка, отведённого под трубопровод [9].

Компенсаторы сильфонного типа предназначены для наземной и канальной прокладок теплопроводов. При подземной прокладке теплопроводов в каналах, туннелях, камерах, также при наземной прокладке и в зданиях, СК могут устанавливаться на прямолинейных участках теплопровода во всяком месте между двумя неподвижными опорами (концевыми либо промежуточными), при всем этом не может быть преград для вероятных движений кожуха вместе с частью теплопровода. Между двумя неподвижными опорами разрешается располагать лишь 1 СК.

При монтаже и эксплуатации осевых СК не разрешается нагружать их поперечными усилиями, изгибающим и вращающим моментами, также весом присоединяемых участков труб и фасонных изделий. С данной целью при монтаже осевых СК обязательна установка направляющих опор. Первая пара направляющих опор обязана устанавливаться с двух сторон от СК на расстоянии 2-4 Ду. Вторая пара ставится с каждой стороны от СК на расстоянии 14-16 Ду. Примеры установки осевых СК показаны на рис. 2 [9].

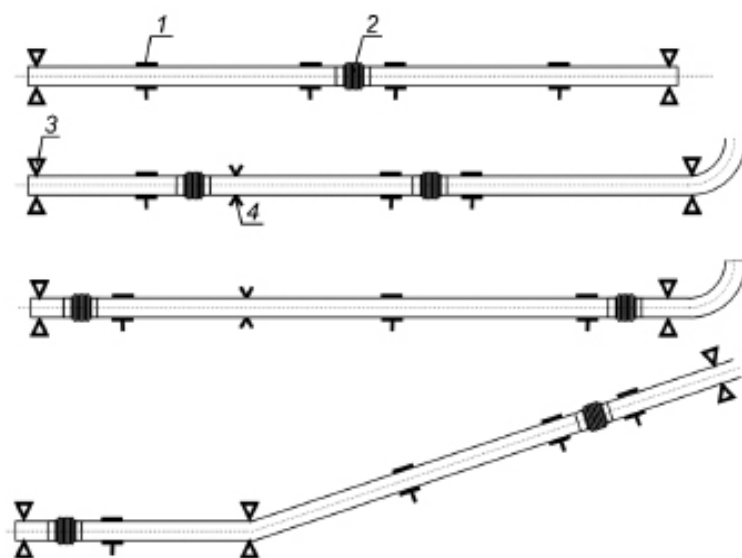


Рис. 2. Примеры установки осевых сильфонных компенсаторов при наземной канальной прокладках трубопроводов тепловых сетей:
1 - направляющая опора; 2 - сильфонный компенсатор;
3 - неподвижная концевая опора; 4 - неподвижная промежуточная опора

Число и необходимость последующих направляющих опор определяется при проектировании по результатам расчёта теплопровода на устойчивость.

За время эксплуатации проблем с сильфонными компенсаторами практически не возникает при соблюдении всех условий при проектировании и монтаже. Бывают случаи, связанные с быстрой межкристаллитной коррозией нержавеющей стали сильфона (рис. 3) [10].



Рис. 3. Коррозия сильфона

Также отмечалось некоторое количество других дефектов, главная масса которых приходится на компенсаторы, отслужившие 7-10 лет, хотя около 5 лет назад проблема межкристаллитной коррозии ведущими изготовителями сильфонных компенсаторов была решена прибавлением титана в состав нержавеющей стали сильфона [11].

Таким образом, внедрение компенсаторов разной конструкции считается главным решением в мировой практике при проектировании разных трубопроводов. Сильфонные компенсаторы занимают одно из главных мест в ряду приспособлений аналогичного предназначения. Их использование относится к более действенным способам борьбы с результатами деформации в трубопроводных системах.

Список литературы

1. Антонов П. Н. Об особенностях применения компенсаторов // Трубопроводная арматура. 2007. № 1.
2. Бурцев К.Н. Металлические сильфоны. М.-Л.: Машгиз, 1963.
3. Ковалев В.И. Сильфонные металлические компенсаторы, 2008.
4. Козловский С.Р., Царьков А.М. Типы компенсаторов: Информационный справочник «АрмТрейд». 2008. № 1.
5. Козловский С. Р. Применение сильфонных осевых компенсаторов в трубопроводах тепловых сетей, насосных, водонагревательных установок, тепловых пунктов и других сооружений, 2009.

6. Кулухов В. И. Исследование вибрации сильфонных компенсаторов в трубопроводах // Проблемы надёжности конструкций газопроводных систем. М.: ВНИИГАЗ, 1980.

7. Поляков В. Локализация деформации труб посредством сильфонных компенсаторов // «Промышленные Ведомости». 2007. № 5-6.

8. Справочник «Промышленное газовое оборудование» / под ред. Е.А. Карякина. 5-е изд. Саратов: Научно-исследовательский центр промышленного газового оборудования «Газовик», 2010.

9. Типы сильфонных компенсаторов, конструкция и особенности их эксплуатации [Электронный ресурс] URL: <http://www.kompensator.ru> (дата обращения: 26.07.2017).

10. Логунов В.В., Поляков В.Л., Слепченко В.С. Опыт применения осевых сильфонных компенсаторов в тепловых сетях // Новости теплоснабжения. 2007. № 7.

11. Сильфонные компенсаторы для снижения напряжений в трубопроводах ГРС / В.В.Харионовский, И.В.Степанов, Г.С.Клишин, В.Е.Селезнев, В.В.Алешин // Газовая промышленность, 2001.

Глебович Станислав Александрович, асп., stivgl@mail.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет

THE DESIGN OF BELLOWS EXPANSION JOINTS

S.A. Glebovich

This paper describes the design features of bellows expansion joints and their use in the device pipeline. The purpose of this study to find out how the bellows compensator, and what features of his work. The problem of compensation of expansion and contraction of pipes subject to movement under the influence of temperature, pressure, and external sources, for many years was the subject of much attention. A more simple method of solving difficulties is the use of natural compensation due to the flexibility of the pipeline with the introduction of with all of this compensating elements. Bellows expansion joints are successfully used for above-ground and channel strips of pipelines.

Key words: Pipeline, bellows compensator, compensation of flexibility, compensating elements, deformation.

Glebovich Stanislav Aleksandrovich, postgraduate, stivgl@mail.ru, Russia, Tula, Tula state university

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ И СЛИЯНИЕ ГРАФИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ В МНОГОСПЕКТРАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

Е.Б. Гравшин, А.И. Ефимов, А.А. Логинов,
М.Б. Никифоров, А.И. Новиков

Формулируется задача по совместной визуализации радиолокационного и телевизионного изображений в комбинированных системах видения. Приводится описание алгоритма, осуществляющего проективное преобразование радиолокационного изображения к телевизионному с целью их последующей визуализации.

Ключевые слова: система технического зрения, радиолокационное изображение, телевизионное изображение.

Проблема гибкой обработки визуальной информации в авиационных системах технического зрения (СТЗ) и манипулирования большими ее массивами при наблюдении за визуальной обстановкой за бортом летательного аппарата (ЛА) является весьма актуальной для повышения безопасности полета за счёт повышения ситуационной осведомленности экипажа.

Многоспектральная система технического зрения (МСТЗ), применяемая на летательном аппарате (ЛА) вертолетного типа, включающая в себя в максимальной комплектации оптико-электронную систему (ОЭС), локатор лазерный сканирующий (ЛЛС), радиолокационную станцию (РЛС), систему датчиков малых высот (СДМВ) является существенным каналом получения информации об окружающей обстановке для экипажа, либо системы, осуществляющей автоматическое управление беспилотным ЛА. В сложных условиях видимости (недостаточная освещенность в ночное время, туман, интенсивные осадки – снег, дождь) МСТЗ и получаемая ей информация о состоянии закабинного пространства становится критически важной как с точки зрения возможности успешного выполнения ЛА возложенной на него задачи, так и осуществления безаварийного полета.

Информационная поддержка экипажа в значительной степени определяет уровень безопасности полетов ЛА. Информация, выдаваемая бортовой системой на пилотажные индикаторы (многофункциональный индикатор, индикатор на лобовом стекле и нашлемной системе) должна быть легко воспринимаемой, не требующей дополнительных умственных напряжений членов экипажа [1]. Формируемые в МСТЗ изображения кроме привычного человеческому глазу вида земной поверхности должно быть дополнено различными вариантами знакографии (скорость полета, координаты ЛА, расстояние до ближайших объектов и т.д.).

Перспективным направлением повышения безопасности полетов является введение новой функциональности в МСТЗ связанной с внедрением авиационных систем улучшенного, синтезированного и комбинированного видения.

Улучшенное видение позволяет путем комплексирования различных информационных датчиков получать изображение, наиболее приемлемое для человеческого глаза.

Обязательным форматом изображений на экранных индикаторах стала электронная карта на основе геоинформационной базы данных. Синтезированная карта показывает участок земной поверхности вокруг ЛА в одном из двух вариантов: либо как проекцию сверху, либо как «вид из окна». В первом случае плоское изображение рельефа облегчает ориентирование. Во втором случае формируется синтезированное трехмерное изображение внешней обстановки во фронтальной плоскости, позволяющее показать рельеф местности с имитацией хорошей видимости — синтезированное видение.

Основные компоненты МСТЗ. Одним из самых эффективных путей решения поставленной задачи является применение МСТЗ различной конфигурации. В состав МСТЗ при полной комплектации входят компоненты в соответствии со схемой, приведенной на рис.1.

Следует отметить, что летательные аппараты не всегда укомплектованы МСТЗ максимальной комплектации. Это обусловлено назначением и кругом задач, выполняемых конкретным бортом, а также экономическими факторами. Важным является тот факт, что требуется дифференциация выдаваемой экипажу ЛА информации в зависимости от этапа выполнения полетного задания. Другими словами, лицо, вырабатывающее сигналы управления воздушным судном, должно получать только ту информацию от МСТЗ, которая необходима ему в данный момент и в максимально удобном для восприятия виде. Предоставление излишних, либо тяжело воспринимаемых сведений способно не только не улучшить ситуационную осведомленность экипажа, но и затруднить своевременное принятие верного решения [3, 4].

Одной из перспективных конфигураций МСТЗ является ОЭС, дополненная РЛС.

ОЭС предоставляет следующую информацию:

- телевизионное изображение HD;
- тепловизионное изображение ближнего ИК диапазона (SWIR);
- тепловизионное изображение дальнего ИК диапазона (LWIR);
- комплексированное ТВ + ТПВ изображение изображения (наиболее эффективный режим представления реального изображения от сенсоров ОЭС): ТВ + SWIR изображение, ТВ + LWIR изображение, ТВ + SWIR + LWIR изображение;
- дальность до центральных элементов изображений;

– углы позиционирования линии визирования относительно строительной оси.

РЛС предоставляет следующую информацию:

– радиолокационное изображение (возможно не изображение, а первичная, «сырая» радиолокационная информация) в координатах азимут и наклонная дальность;

– углы позиционирования диаграммы направленности антенны относительно строительной оси.

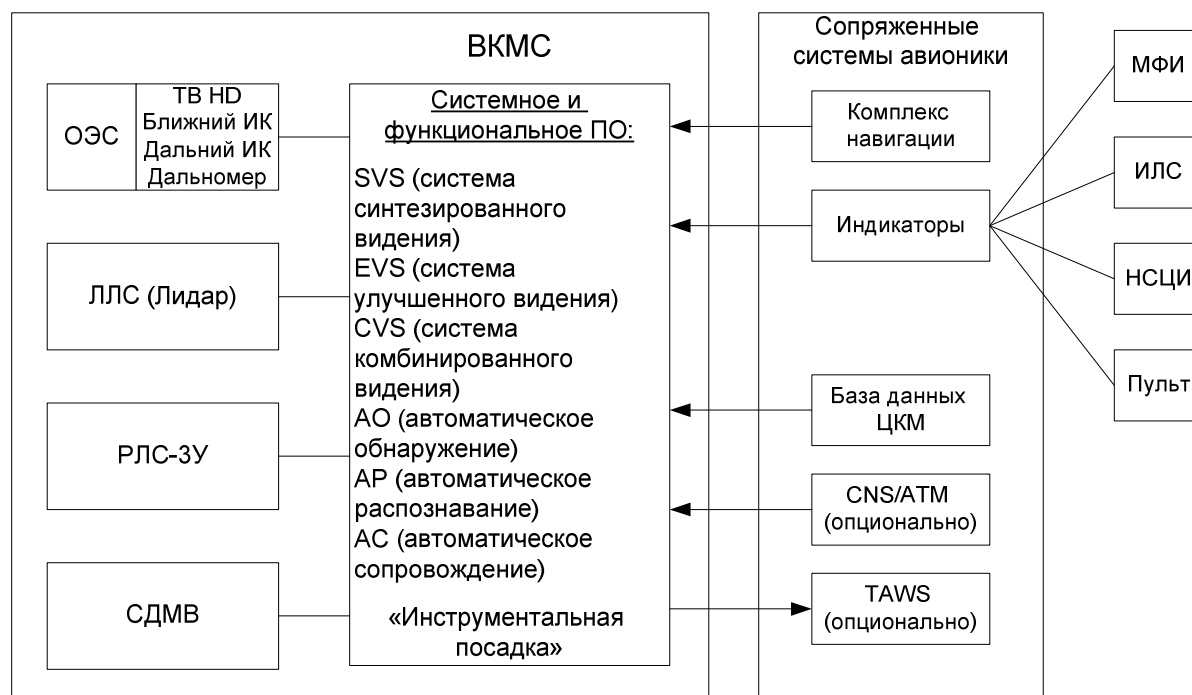


Рис. 1. Схема МСТЗ полной комплектации

Для экспериментальной проверки работоспособности способов совместной визуализации информации от компонент МСТЗ применяются модели РЛИ.

Пример фрагмента ЦКМ и построенного по ней модельного радиолокационного изображения (РЛИ) приведены на рис. 2. Далее в статье подробно рассматривается алгоритм преобразования РЛИ к ТВ изображению с целью их совместной визуализации в МСТЗ.

Алгоритм преобразования РЛИ к ТВ изображению. Совместная визуализация изображения от РЛС и ОЭС представляет большой интерес с точки зрения обнаружения на ТВ-изображении радиоконтрастных объектов. Для этого требуется преобразовать имеющееся радиолокационное изображение (рис. 2) к видеоизображению виртуальной камеры, расположенной в той же точке пространства, что и бортовая радиолокационная станция (БРЛС).

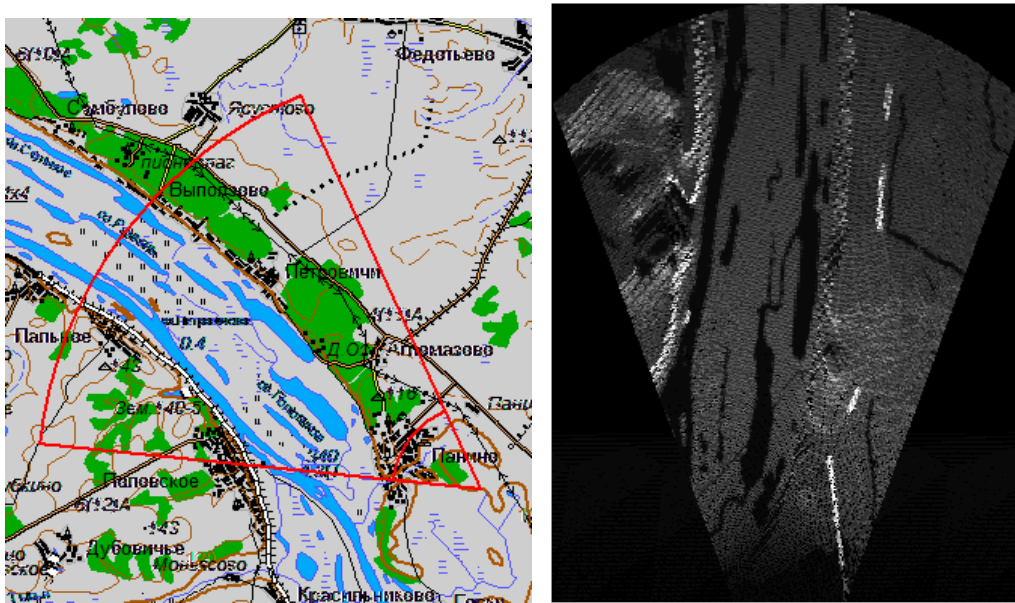


Рис. 2. Пример ЦКМ и полученного по ней модельного РЛИ

Введем систему координат $Oxuz$, начало которой точка $O(0,0,0)$ совпадает с точкой, в которой находится БРЛС. Ось Oy направим вдоль строительной оси летательного аппарата (ЛА), ось Ox перпендикулярна ей и сонаправлена с правым крылом ЛА, а ось Oz перпендикулярна плоскости Oxy и направлена так, что тройка базисных векторов i, j, k , соответствующих этим осям, является правой тройкой (рис. 3).

Преобразование радиолокационного изображения в панорамное изображение на виртуальной камере предполагается выполнять с помощью проективного преобразования, то есть с помощью матрицы гомографии H . В однородных координатах это преобразование имеет следующий вид [5]:

$$\begin{pmatrix} \lambda x'_i \\ \lambda y'_i \\ \lambda \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x_i \\ y_i \\ 1 \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Для нахождения 8 элементов h_{ij} , $i = \overline{1,3}$, $j = \overline{1,3}$ матрицы гомографии необходимо иметь минимум 4 пары ключевых точек. В качестве таких пар точек можно взять угловые точки сектора РЛИ в плоскости Земли $A_1(x_1, y_1, -H)$, $A_2(x_2, y_2, -H)$, $A_3(x_3, y_3, -H)$, $A_4(x_4, y_4, -H)$ (рис. 3) и отвечающие им образы $A'_1(x'_1, y'_1, z'_1)$, $A'_2(x'_2, y'_2, z'_1)$, $A'_3(x'_3, y'_3, z'_1)$, $A'_4(x'_4, y'_4, z'_1)$ – в плоскости виртуальной камеры (см.рис. 2). Координаты точек $A_i, i = \overline{1,4}$ – угловых точек сектора РЛИ в плоскости Земли известны. Необходимо найти лишь координаты их образов в плоскости виртуальной камеры.

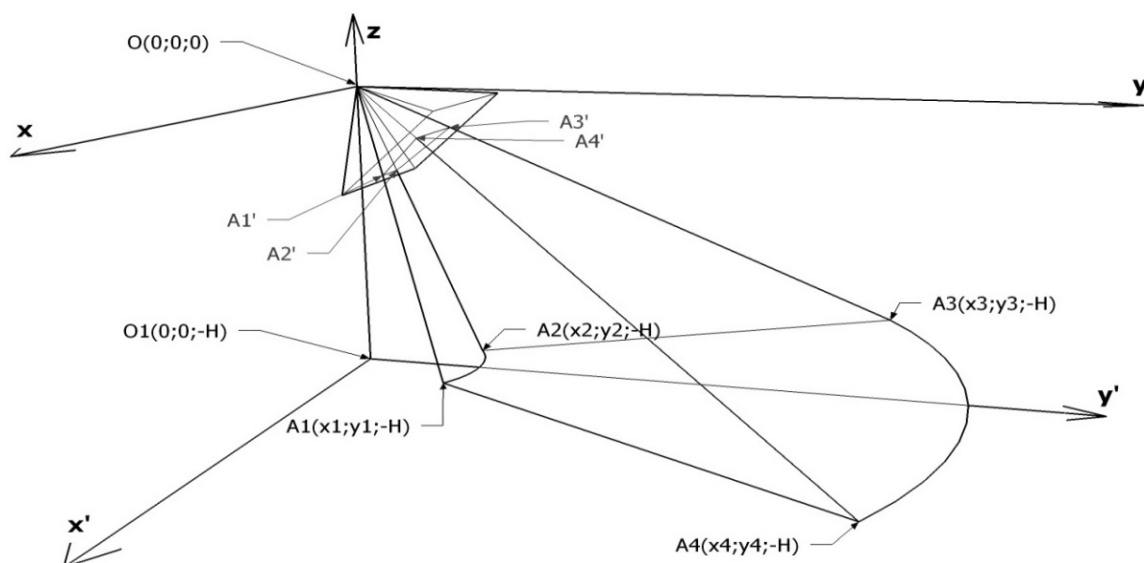


Рис. 3. Иллюстрация преобразования радиолокационного изображения к виртуальной камере

Нахождение координат образов угловых точек на виртуальной камере. Перевод виртуальной камеры в рабочее положение осуществим последовательно в два этапа. Сначала зададим координаты вершин камеры C_1, C_2, C_3, C_4 в плоскости картинки (рис. 4), когда камера «смотрит» вниз, то есть ее оптическая ось перпендикулярна плоскости Земли. На втором этапе камеру переведем в рабочее положение с помощью поворота камеры в плоскости тангажа на требуемый угол (для рассматриваемой задачи – 80°).

В исходном положении виртуальной камеры из системы прямоугольных треугольников (рис. 4) находим координаты угловых точек виртуальной камеры по следующим формулам:

$$\begin{aligned}
 &C_1\left(f \cdot \operatorname{tg} \frac{\Psi}{2}; -f \cdot \operatorname{tg} \frac{\theta}{2}; -f\right); \quad C_2\left(-f \cdot \operatorname{tg} \frac{\Psi}{2}; -f \cdot \operatorname{tg} \frac{\theta}{2}; -f\right); \\
 &C_3\left(-f \cdot \operatorname{tg} \frac{\Psi}{2}; f \cdot \operatorname{tg} \frac{\theta}{2}; -f\right); \quad C_4\left(f \cdot \operatorname{tg} \frac{\Psi}{2}; f \cdot \operatorname{tg} \frac{\theta}{2}; -f\right).
 \end{aligned} \tag{2}$$

Теперь выполним поворот виртуальной камеры в плоскости тангажа на угол θ_1 . Координаты x точек $C'_i, i = \overline{1,4}$ (рис. 5) при этом преобразовании не изменятся, а координаты y, z преобразуются по формуле (3):

$$\begin{cases} y'_i = y_{C_i} \cos \theta_1 - z_{C_i} \sin \theta_1, \\ z'_i = y_{C_i} \sin \theta_1 + z_{C_i} \cos \theta_1, \quad i = \overline{1,4}. \end{cases} \tag{3}$$

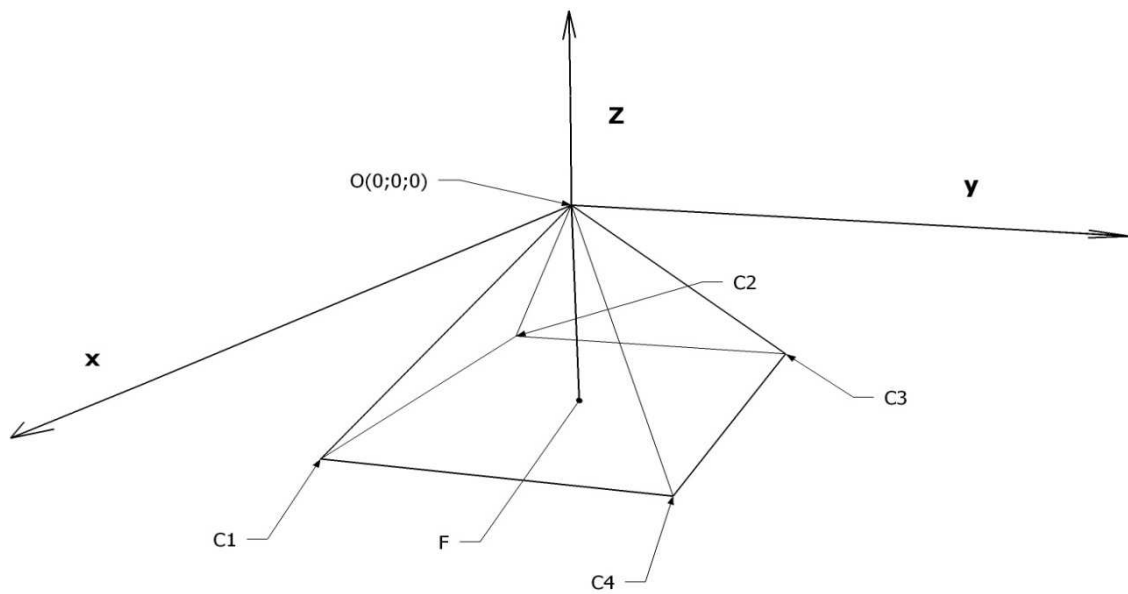


Рис. 4. Исходное положение виртуальной камеры

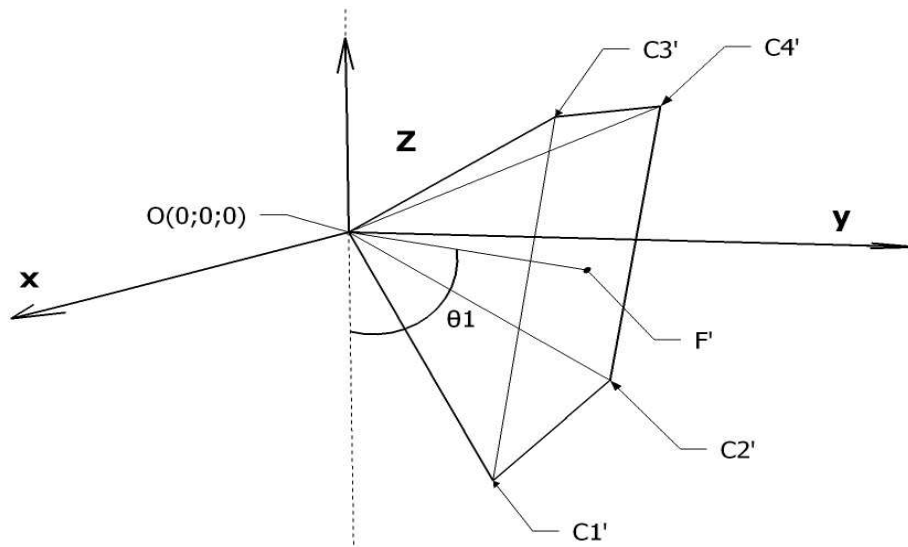


Рис. 5. Рабочее положение виртуальной камеры

Координаты $(0, 0, f)$ фокуса камеры в результате поворота изменятся следующим образом: $F'(0; f \sin\theta_1; -f \cos\theta_1)$. Эти же координаты будет иметь и вектор нормали к плоскости P картинки виртуальной камеры $n_{F'} = (0; f \sin\theta_1; -f \cos\theta_1)$. Поэтому уравнение плоскости P будет иметь следующий вид:

$$P: f \sin\theta_1(y - f \sin\theta_1) - f \cos\theta_1(z - f \cos\theta_1) = 0,$$

после преобразования

$$P: f \cdot \operatorname{tg}\theta_1 \cdot y - z + f(\cos\theta_1 - \sin\theta_1 \operatorname{tg}\theta_1) = 0. \quad (4)$$

Следующий этап – нахождение координат точек $A'_i, i = \overline{1,4}$ образов угловых точек РЛИ в плоскости P картинки виртуальной камеры. Их можно найти как результат пересечения лучей $OA_i, i = \overline{1,4}$ с плоскостью P картинки виртуальной камеры. Координаты направляющих векторов $q_i = OA_i, i = \overline{1,4}$ совпадают с координатами соответствующих точек $A'_i, i = \overline{1,4}$. Нормированные направляющие векторы будут иметь координаты $q_i = \frac{1}{\sqrt{x_i^2 + y_i^2 + H^2}}(x_i; y_i; -H) = (x_i^0; y_i^0; z_i^0), i = \overline{1,4}$.

Решая совместно уравнения прямых

$$L_{OA_i} : \begin{cases} x_{A_i} = x_i^0 \cdot t, \\ y_{A_i} = y_i^0 \cdot t, \\ z_{A_i} = z_i^0 \cdot t, \quad t \in R, \quad i = \overline{1,4} \end{cases}$$

и уравнение (4) плоскости P , находим значения параметра t_i^0 и искомые координаты образов $A'_i, i = \overline{1,4}$ точек $A_i, i = \overline{1,4}$

$$\begin{cases} x'_{A'_i} = x_i^0 \cdot t_i^0, \\ y'_{A'_i} = y_i^0 \cdot t_i^0, \\ z'_{A'_i} = z_i^0 \cdot t_i^0, \quad i = \overline{1,4}, \end{cases} \quad (5)$$

где $t_i^0 = \frac{f(\cos\theta_1 - \sin\theta_1 \operatorname{tg}\theta_1)}{z_i^0 - \operatorname{tg}\theta_1 \cdot y_i^0}$.

Построение проективного преобразования и получение панорамного изображения. Исключив из матричного уравнения (1) параметр λ получим для каждой пары ключевых точек пару линейных алгебраических уравнений:

$$\begin{cases} h_{31}x_i x'_i + h_{32}y_i x'_i + x'_i = h_{11}x_i + h_{12}y_i + h_{13}, \\ h_{31}x_i y'_i + h_{32}y_i y'_i + y'_i = h_{21}x_i + h_{22}y_i + h_{23}, \quad i = \overline{1,4}. \end{cases} \quad (6)$$

Для 4 пар ключевых точек система уравнений (6) будет состоять из 8 уравнений относительно 8 неизвестных. Запишем эту систему в матричной форме, упорядочив предварительно слагаемые в каждом уравнении по порядку следования неизвестных

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{h} = \mathbf{B}, \quad (7)$$

где \mathbf{A} – основная матрица системы линейных алгебраических уравнений для нахождения элементов матрицы гомографии, а \mathbf{h}, \mathbf{B} – векторы-столбцы соответственно неизвестных и свободных членов этой системы. Решив систему уравнений (7) одним из известных методов, например с помощью обратной матрицы

$$\mathbf{h} = \mathbf{A}^{-1}\mathbf{B}, \quad (8)$$

найдем в результате неизвестные элементы матрицы гомографии.

Рассмотрим примеры построения панорамного изображения по заданному радиолокационному изображению. Модельное РЛИ, исходное реальное ТВ-изображение и результаты проецирования РЛИ и комплексирования с ТВ-изображением показаны на рис. 6.

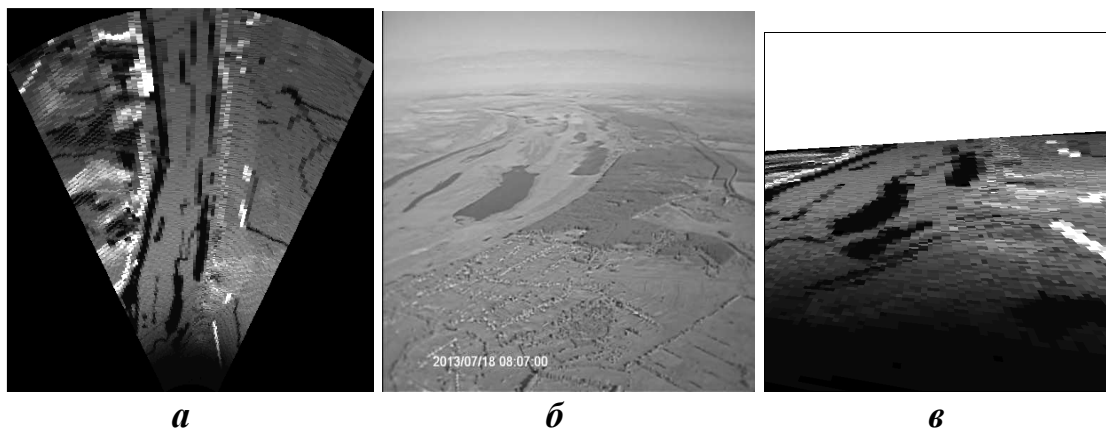


Рис. 6. Построение «панорамного изображения»: а - модельное РЛИ, б - ТВ-изображение, в - «панорамное изображение» (преобразование РЛИ и комплексирование с ТВ-изображением)

При комплексировании РЛИ и ТВ-изображений применимы подходы к комплексированию ТПВ и ТВ-изображений (светлые элементы на РЛИ – радиоконтрастные объекты, именно они представляют наибольший интерес). Потенциально возможные варианты комплексирования (с приоритетом ТВ-канала (рис. 7, а) и по критерию максимума яркости (рис. 7, б)) представлены на рис. 7.

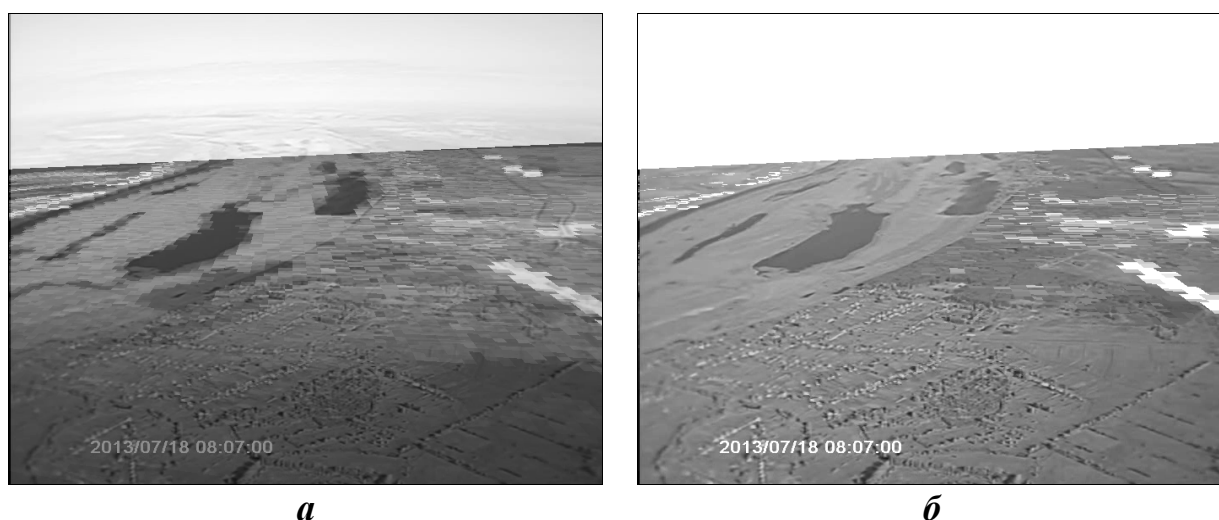


Рис. 7. Результаты комплексирования панорамного РЛИ и ТВ-изображений: а - с приоритетом ТВ-канала, б - по критерию максимума яркости

Заключение

Выбор наиболее эффективных способов визуализации радиолокационной информации при работе РЛС в режиме МВП позволит существенно увеличить безопасность маловысотного полета и посадки в плохих условиях видимости. Данная информация позволяет выполнить обход или облет препятствий и предупреждает об опасных районах на траектории полета.

Список литературы

1. Пути повышения уровня безопасности полетов. Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.modern-avionics.ru/analytics/2014/modern-role-of-avionics-aircraft/part-4/> (дата обращения: 1.09.2017).
2. Avionics [Электронный ресурс]. URL: www.aviationtoday.com/regions/usa (дата обращения: 22.04.2017).
3. Обработка изображений в авиационных системах технического зрения / В.С.Гуров, Г.Н.Колодыко, Л.Н.Костяшкин [и др.]; под ред. Л.Н. Костяшкина, М.Б. Никифорова. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2016. 240 с.
4. Visual navigation of the UAVs on the basis of 3D natural landmarks / S.Karpenko, I.Konovalenko, A.Miller, B.Miller, D.Nikolaev // Proceedings SPIE. Eighth International Conference on Machine Vision (ICMV 2015), 2015, V. 9875, 98751I. P. 1-10.
5. Ефимов А.И., Новиков А.И. Алгоритм поэтапного уточнения проективного преобразования для совмещения изображений // Компьютерная оптика. 2016. Т. 40. № 2. С. 258-265.

Гравшин Евгений Борисович, зам. директора, graffEu@mail.ru, Россия, Рязань, Рязанский государственный приборный завод,

Ефимов Алексей Игоревич, канд. техн. наук, доц., lexie62rus@mail.ru, Россия, Рязань, Рязанский государственный радиотехнический университет,

Логинов Александр Анатольевич, канд. техн. наук, доц., loginal@mail.ru, Россия, Рязань, Рязанский государственный радиотехнический университет,

Никифоров Михаил Борисович, канд. техн. наук, доц., nikiforov.m.b@evm.rsreu, Россия, Рязань, Рязанский государственный радиотехнический университет,

Новиков Анатолий Иванович, канд. экон. наук, доц., novikovanatoly@yandex.ru, Россия, Рязань, Рязанский государственный радиотехнический университет

GRAPHICS INFORMATION VISUALIZATION AND MERGING IN MULTI-SPECTRAL
TECHNICAL VISION SYSTEMS

E.B. Gravshin, A.I. Efimov, A.A. Loginov, M.B. Nikiforov, A.I. Novikov

The article formulates the problem of joint visualization of radar and television images in combined vision systems. The description of the algorithm that carries out the projective transformation of the radar image to the television for the purpose of their subsequent visualization is given.

Key words: technical vision system, radar image, television image.

Gravshin Evgeny Borisovich, deputy director, graffEu@mail.ru, Russia, Ryazan, Ryazan State Instrument Making Enterprise,

Efimov Aleksey Igorevich, candidate of technical sciences, docent, lexie62rus@mail.ru, Russia, Ryazan, Ryazan State Radio Engineering University,

Loginov Aleksander Anatolievich, candidate of technical sciences, docent, loginal@mail.ru, Russia, Ryazan, Ryazan State Radio Engineering University,

Nikiforov Michail Borisovich, candidate of technical sciences, docent, nikiforov.m.b@evm.rsreu, Russia, Ryazan, Ryazan State Radio Engineering University,

Novikov Anatoly Ivanovich, candidate of economy sciences, docent, novikovanatoly@yandex.ru, Russia, Ryazan, Ryazan State Radio Engineering University

УДК 519.217.2

АППРОКСИМАЦИЯ КОМПОЗИЦИИ ПЛОСКОСТЕЙ ЗАКОНОМ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

К.А. Гришин

Рассматривается аппроксимация числовых характеристик, полученных в результате упрощений элементарных подсетей Петри-Маркова методом прямого расчета, гамма-распределением с теми же числовыми характеристиками. Представлен метод поиска минимального значения ошибки при наличии ограничений.

Ключевые слова: аппроксимация, подсеть Петри-Маркова, гамма-распределение, математическое ожидание, дисперсия.

Структура плотности распределения времени достижения одних состояний элементарный подсетей Петри-Маркова (ЭПМ) из других состояний имеет вид взвешенной суммы законов распределения, и в общем случае определяется выражением:

$$f(t) = \sum_{j=1}^J p_j f_j(t), \quad (1)$$

где p_j - вероятность наступления j -го события; $f_j(t)$ - функция плотности распределения до наступления j -го события; J - общее количество событий.

Использование выражений вида (1) при моделировании неудобно, поэтому целесообразно аппроксимировать плотность распределения $f(t)$ некоторым законом $\varphi(t, \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$, который может быть в дальнейшем достаточно просто использован для анализа.

В общем случае ошибка аппроксимации определяется выражением:

$$\varepsilon = \int_0^{\infty} (f(t) - \varphi(t, \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n))^2 dt, \quad (2)$$

Выражение (2) является мерой близости аппроксимирующего закона и плотности, формируемой композицией (1).

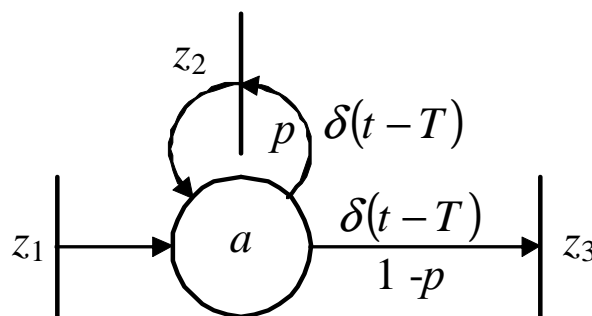
Кроме того, для аппроксимирующего закона должны выполняться ограничения:

$$\begin{cases} \int_0^{\infty} t \sum_{j=1}^J p_j f_j(t) dt = \int_0^{\infty} t \varphi(t, \alpha_1, \dots, \alpha_n) dt; \\ \int_0^{\infty} t^2 \sum_{j=1}^J p_j f_j(t) dt = \int_0^{\infty} t^2 \varphi(t, \alpha_1, \dots, \alpha_n) dt; \\ \int_0^{\infty} \varphi(t, \alpha_1, \dots, \alpha_n) dt = 1. \end{cases} \quad (3)$$

Поиск минимального значения ошибки (2) при наличии ограничений (3) может быть осуществлен методом неопределенных множителей Лагранжа. Однако задача может быть существенно упрощена.

Рассмотрим ЭППМ, приведенную на рисунке со структурой:

$$\Pi = \left\{ \{a\}, \{z_1, z_2, z_3\}, (0, 1, 1), \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} \right\}. \quad (4)$$



ЭППМ с циклом

Плотность распределения времени пребывания в позиции a определяется вырожденным законом $\delta(t - T)$. Переход z_1 является стартовым и моделирует начало процесса. Переход z_2 является примитивным, а переход

z_3 - конечным переходом. Анализ ЭППМ показывает, события попадания фишки в переход z_3 могут происходить через интервалы $T, 2T, 3T, \dots$ (шкала равномерная). Вероятности этих событий определяются значениями, соответственно $(1 - p), (1 - p)p, (1 - p)p^2, \dots$ (шкала экспоненциальная). Для аппроксимации подобной композиции вероятностей целесообразно применять закон, который имеет максимум, близкий к началу координат и убывает по экспоненте. Таковым законом является гамма-распределение (Γ -распределение), приведенное в таблице. В указанном законе $\alpha > 0$ - параметр формы; $\beta > 0$ - параметр масштаба.

Характеристические функции некоторых плотностей распределения

Распределение	Плотность распределения	Характеристическая функция
Γ -распределение	$\begin{cases} \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha, \beta)} t^{\alpha-1} \exp(-\beta t), \text{ если } t \geq 0; \\ 0, \text{ если } t < 0; \alpha > 0, \beta > 0. \end{cases}$ $\Gamma(\alpha, \beta) = \int_0^\infty t^{\alpha-1} \exp(-\beta t) dt$	$\left(1 - \frac{is}{\beta}\right)^{-\alpha}$

При целочисленном α Γ -распределение преобразуется в распределение Эрланга:

$$F(t) = \begin{cases} 0 \text{ при } t < 0, \\ 1 - \sum_{k=0}^{\alpha-1} \frac{(\beta t)^k}{k!} \exp(-\beta t) \text{ при } t \geq 0; \end{cases} \quad (5)$$

$$f(t) = \begin{cases} 0 \text{ при } t < 0, \\ \frac{\beta(\beta t)^{\alpha-1}}{(\alpha-1)!} \exp(-\beta t) \text{ при } t \geq 0. \end{cases} \quad (6)$$

Из выражений для математического ожидания и дисперсии аппроксимирующего Γ -распределения следует, что его параметры могут быть найдены по математическим ожиданиям и дисперсии аппроксимируемой плотности согласно следующим зависимостям:

$$\beta = \frac{T}{D}; \quad \alpha = \frac{T^2}{D}, \quad (7)$$

где T и D - математическое ожидание и дисперсия композиции (1).

Таким образом, в данной статье было рассмотрено аппроксимирование числовых характеристик, полученные в результате упрощений ЭППМ методом прямого расчета, Γ -распределением с теми же числовыми характеристиками.

Список литературы

1. Ларкин Е.В., Котов В.В. Титов С.В. Аппроксимация взвешенной суммы плотностей распределения вероятностным законом // Известия Тульского государственного университета. Проблемы специального машиностроения. 2000. Вып. 3. Ч. 1. С. 389 - 393.
2. Ларкин Е.В., Ивутин А.Н., Костомаров Д.С. Методика формирования сети Петри-Маркова для моделирования когнитивных технологий // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2013. Вып. 9. Ч. 1. С. 303 - 311.

Гришин Константин Анатольевич, асп., GrishKons92@yandex.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет

APPROXIMATION OF PLANE COMPOSITION BY LAW OF DISTRIBUTION

K.A. Grishin

Approximation of numerical characteristics obtained as a result of simplifications of elementary Petri-Markov subnets by the method of direct calculation, gamma distribution with the same numerical characteristics is considered. A method for finding the minimum value of an error in the presence of constraints is proposed.

Key words: approximation, Petri-Markov subnet, gamma distribution, mathematical expectation, variance.

Grishin Konstantin Anatolyevich, postgraduate, GrishKons92@yandex.ru, Russia, Tula, Tula, Tula State University

УДК 519.217.2

ПЕТРИ-МАРКОВСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТИПОВЫХ СТРУКТУР ИЗБЫТОЧНЫХ СИСТЕМ

К.А. Гришин

Рассматривается моделирование типовых структур избыточных систем с помощью сетей Петри-Маркова. Представлена Петри-Марковская модель взаимодействия элементов в избыточной отказоустойчивой структуре, а также вероятность выполнения логических условий в дизъюнктивной нормальной форме.

Ключевые слова: избыточная система, сеть Петри-Маркова, дизъюнктивная нормальная форма, плотность распределения.

Рассмотрим избыточную структуру при которой к одному источнику (информации, сигнала, электроэнергии и т.п.) и одной нагрузке подключаются K однотипных элементов:

$$G' = \{B', Z'\} \supset G, \quad (1)$$

При начале эксплуатации системы все элементы вводятся в эксплуатацию одновременно. Отказавший элемент остается в структуре системы в том смысле, что физические связи отказавшего элемента с другими элементами, а также с источником и нагрузкой не нарушаются. При этом система рассчитывается таким образом, чтобы режим функционирования резервируемых элементов был близок к режиму без резервирования, а наличие резервируемых структур не приводило к нарушению работоспособности.

На рис. 1 применены следующие обозначения: β - источник (энергии, сигнала), обеспечивающий воздействие на резервируемый элемент; α - резервируемый элемент; $\{\alpha_1, \dots, \alpha_k, \dots, \alpha_K\}$ - множество элементов, резервирующих элемент α ; ε - нагрузка на элемент α . Стрелками на ориентированных графах указаны: (β, α) - связь, обеспечивающая воздействие на элемент α со стороны источника β ; (ε, α) - связь, обеспечивающая воздействие на элемент α со стороны нагрузки ε ; $\{(\beta, \alpha_1), \dots, (\beta, \alpha_k), \dots, (\beta, \alpha_K)\}$ - множество связей, обеспечивающих воздействие на элементы $\{\alpha_1, \dots, \alpha_k, \dots, \alpha_K\}$ со стороны источника β ; $\{(\varepsilon, \alpha_1), \dots, (\varepsilon, \alpha_k), \dots, (\varepsilon, \alpha_K)\}$ - множество связей, обеспечивающих воздействие на дублирующие элементы со стороны нагрузки.

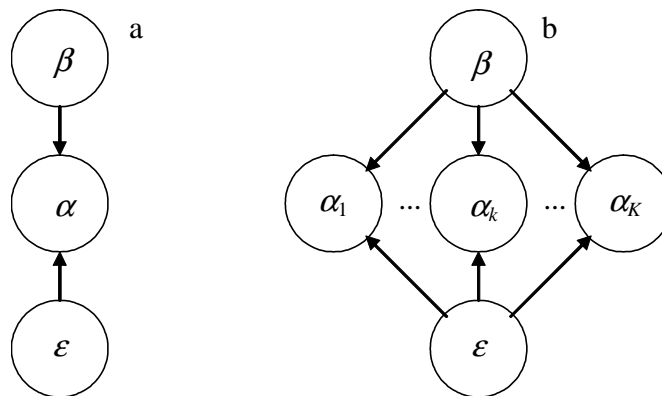


Рис. 1. Исходная система без резервирования (а) и с резервированием (б)

Вследствие того, что воздействие на элементы $\{\alpha_1, \dots, \alpha_n, \dots, \alpha_N\}$ начинает осуществляться одновременно, Петри-Марковская модель будет иметь вид, приведенный на рис. 2.

Структура сети Петри-Маркова, изображенной на рис. 2, имеет вид:

$$\tilde{\Pi} = \left\{ \{c_1, \dots, c_k, \dots, c_K\}, \{z_1, z_2\}, \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ \dots & \dots \\ 0 & 1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 1 & \dots & 1 \\ 0 & \dots & 0 \end{pmatrix} \right\}, \quad (2)$$

где c_k - подсеть Π^k , упрощенная до единственной позиции, моделирующая деградационно-восстановительный процесс в k -м элементе, $1 \leq k \leq K$; z_1 -

переход, моделирующий начало эксплуатации системы; z_2 - переход, моделирующий смену состояний системы после отказа одного из элементов.

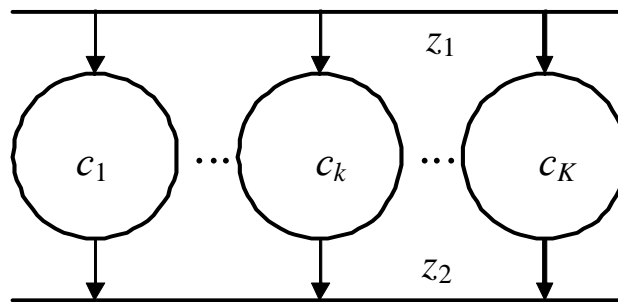


Рис. 2. Петри-Марковская модель взаимодействия элементов в избыточной отказоустойчивой структуре

Плотность распределения времени задержки переключения из перехода z_1 в переход z_2 через позицию c_k определяется зависимостью:

$$f_k(t) = \frac{h_k(t)}{p_k}. \quad (3)$$

Обозначим факт переключения из позиции c_k в переход z_2 булевой переменной $\sigma_k = (c_k, z_2)$. Будем считать, что условие работоспособности системы в результате отказов групп элементов представлено в дизъюнктивной нормальной форме:

$$\Lambda = \bigvee_{n=1}^N \left(\bigwedge_k \Lambda_n(\sigma_k) \right), \quad (3)$$

где $\bigvee_{n=1}^N$ - групповая дизъюнкция; \bigwedge_k - групповая конъюнкция; $\Lambda_n(\sigma_k)$ - логическая функция n -й элементарной конъюнкции от k -й булевой переменной; $N = 2^K$;

$$\Lambda_n(\sigma_k) = \begin{cases} \sigma_k, & \text{если полушаг } (c_k, z_2) \text{ должен быть сделан;} \\ \bar{\sigma}_k, & \text{если полушаг } (a_k, z_2) \text{ не должен быть сделан;} \end{cases} \quad (4)$$

где $\bar{\sigma}_k$ - логическая операция отрицания.

Вследствие того, что выполнение полушагов из позиции c_k в переход $z_j(z_n)$ производится в течение случайного времени, определяемого плотностью $\hat{f}_k(t)$, вероятность выполнения и невыполнения полушага σ_k в течение времени t определяются по зависимостям:

$$P(\sigma_k | \tau < t) = F_k(t) = \int_0^t f_k(\tau) d\tau; \quad (5)$$

$$P(\sigma_k | \tau > t) = 1 - F_k(t), \quad (6)$$

где $F_k(t)$ - функция распределения, соответствующая плотности $f_k(t)$.

Вследствие того, что все события выполнения полушагов из позиций $c_1, \dots, c_k, \dots, c_K$ являются независимыми, вероятности того, что будет выполнено условие n -й элементарной конъюнкции, определяется зависимостью:

$$P_n(t) = \prod_{k=1}^K \vartheta_n[f_k(t)], \quad (7)$$

$$\vartheta_n[f_k(t)] = \begin{cases} F_k(t), & \text{если } \Lambda_n(\sigma_k) = \sigma_k; \\ [1 - F_k(t)], & \text{если } \Lambda_n(\sigma_k) = \bar{\sigma}_k. \end{cases} \quad (8)$$

Вследствие того, что все возможные комбинации выполнения и невыполнения шагов σ_n являются несовместными событиями, вероятности различных комбинаций независимы, и в общем случае вероятность выполнения логических условий, представленных в дизъюнктивной нормальной форме (3), определяется выражением:

$$P(t) = \sum_n \prod_{k=1}^K \vartheta_n[f_k(t)]. \quad (9)$$

Таким образом, (9) представляет собой изменение вероятности перехода системы, изображенной на рис. 2, в неработоспособное состояние.

Список литературы

1. Котов В.В., Котова Н.А., Ларкин Е.В. Метод имитационного моделирования систем с использованием сетей Петри-Маркова // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2015. Вып. 9. С. 164 - 170.

2. Ларкин Е.В., Ивутин А.Н., Костомаров Д.С. Методика формирования сети Петри-Маркова для моделирования когнитивных технологий // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2013. Вып. 9. Ч. 1. С. 303 - 311.

Гришин Константин Анатольевич, асп., GrishKons92@yandex.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет

PETRI-MARKOV MODELING OF TYPICAL STRUCTURES OF EXCESS SYSTEMS

K.A. Grishin

Modeling of typical structures of redundant systems using Petri-Markov nets is considered. A Petri-Markov model of the interaction of elements in an excessive fault-tolerant structure is presented. The probability of the fulfillment of logical conditions in a disjunctive normal form is presented.

Key words: redundant system, Petri-Markov net, disjunctive normal form, distribution density.

Grishin Konstantin Anatolyevich, postgraduate, GrishKons92@yandex.ru, Russia, Tula, Tula, Tula State University

УДК 519.8

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА РОЯ ЧАСТИЦ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ В БОРТОВЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ И УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМАХ ПО КРИТЕРИЮ РАВНОМЕРНОЙ ЗАГРУЗКИ

О.В. Есиков, С.М. Цыбин, А.И. Чернышков

Формализованы задачи оптимизации распределения программных модулей в системе вычислительных средств бортовых информационных и управляющих систем по критерию равномерной загрузки. Предложена реализация метода роя частиц для решения разработанных математических моделей. Выполнена экспериментальная оценка эффективности применения метода роя частиц для формализованных задач.

Ключевые слова: бортовые информационные и управляющие системы, информационно-вычислительный процесс, дискретная оптимизация.

Современные бортовые информационные и управляющие системы (БИУС) представляют собой сложные программно-аппаратные комплексы, построенные на единой технологической базе и предназначенные для решения широкого круга задач [1]. При этом они строятся по модульному принципу, где каждый модуль представляет собой вычислительное средство, имеющее средства сопряжения в единую БИУС.

Каждый вычислительный модуль может быть задействован как для решения фиксированного узкого круга задач, так и совокупности задач формируемой динамически в зависимости от текущей ситуации.

В первом случае каждый вычислительный модуль решает свои функциональные задачи, а информационный обмен основан на обмене данными. Данный вариант обеспечивает наибольшую простоту построения вычислительного процесса. Во втором случае перечень решаемых каждым вычислительным модулем задач может с течением времени изменяться. Данный вариант обеспечивает более гибкое управление вычислительным процессом и повышает живучесть БИУС в экстремальных условиях функционирования. Однако данный вариант требует затраты вычислительных ресурсов на решение дополнительных задач планирования построения

вычислительного процесса, что в свою очередь требует построения соответствующих математических моделей и выбора эффективных методов их решения.

Пусть БИУС состоит из K вычислительных модулей (ВМ), связанных каналом передачи данных. В общем случае ВМ не являются типовыми в части их характеристик (производительность H_k , объем оперативной V_k^O и внешней памяти V_k^D , $k = 1, 2, \dots, K$). В составе БИУС решается M функциональных задач, реализуемых программными модулями (ПМ).

Каждый i -й программный модуль (ПМ) характеризуется следующими параметрами: время решения при наличии всех исходных данных на ВМ эталонной производительности \bar{t}_i ; доля вычислительной мощности (степень загрузки ВМ) требуемой для решения ПМ на эталонном ВМ \bar{h}_i ; требуемый объем оперативной памяти для размещения и решения ПМ v_i^O ; требуемый объем долговременной памяти для хранения ПМ v_i^D .

Для простоты дальнейших рассуждений будем считать пропускную способность каналов передачи данных в БИУС достаточной, чтобы считать время передачи данных между ВМ при выполнении ПМ пренебрежительно малым.

Распределение (перераспределение) по ВМ ПМ требующих решения осуществляется в дискретные моменты времени соответствующие моментам планового решения функциональных задач, а также моментам времени обнаружения возникновения исключительных ситуаций, которые приводят к изменению состояния ВМ. ПМ уже решаемые на ВМ перераспределению не подлежат. В исключительных случаях, в случае структурной деградации БИУС возможна остановка выполнения и перераспределение ПМ, решающих низкоприоритетные задачи [1].

Пусть $x_{ik} = 1$, если в текущий момент времени требуется решение i -го ПМ ($i = 1, 2, \dots, M$) на k -м ВМ ($k = 1, 2, \dots, K$), и $x_{ik} = 0$ в противном случае.

Тогда задача оптимизации распределения ПМ по ВМ по критерию равномерной загрузки ВМ может быть сформулирована следующим образом [1]. Определить такие значения переменных x_{ik} ($i = 1, 2, \dots, M$; $k = 1, 2, \dots, K$), которые обеспечивали бы

$$H = \sum_{k=1}^K \left(\sum_{i=1}^M \frac{\bar{h}_i}{H_k} x_{ik} - \bar{H} \right)^2 \rightarrow \min \quad (1)$$

при ограничениях:

а) на объем оперативной памяти ВМ

$$\sum_{k=1}^K x_{ik} \left(V_k^O - \sum_{j=1; j \neq i}^M v_j^O x_{jk} \right) \geq v_i^O, \quad i = 1, 2, \dots, M; \quad (2)$$

б) на объем долговременной памяти ВК

$$\sum_{k=1}^K x_{ik} \left(V_k^D - \sum_{j=1; j \neq i}^M v_j^D x_{jk} \right) \geq v_i^D, \quad i = 1, 2, \dots, M; \quad (3)$$

в) на максимальную загрузку ВК

$$\sum_{k=1}^K x_{ik} \left(H_k - \frac{\bar{h}_i}{H_k} - \sum_{j=1; j \neq i}^M \frac{\bar{h}_j}{H_k} x_{jk} \right) \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, M; \quad (4)$$

г) на время решения задач

$$\sum_{k=1}^K \frac{\bar{t}_i}{H_k} x_{ik} \leq T_i^{\text{доп}} 0, \quad i = 1, 2, \dots, M; \quad (5)$$

д) на значения переменных

$$\sum_{k=1}^K x_{ik} = 1; \quad x_{ik} = \{0, 1\}, \quad i = 1, 2, \dots, M, \quad k = 1, 2, \dots, K, \quad (6)$$

где $\bar{H} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^M \frac{\bar{h}_j}{H_k} x_{ik}$.

В случае выхода из строя ВМ (или невозможности по какой-либо причине их использования в вычислительном процессе) и, как следствие, снижения общей производительности БИУС, когда не удастся получить значение среднего квадратического отклонения загрузки ВМ менее заданного, предлагается решать задачу распределения ПМ по критерию минимума времени решения всех задач, которая может быть сформулирована следующим образом.

Определить такие значения a_{ik} ($i = 1, 2, \dots, M; k = 1, 2, \dots, K$), что

$$\sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^M \frac{\bar{h}_j}{H_k} x_{ik} \rightarrow \min \quad (7)$$

при ограничениях (2)-(4), (6).

Задача (1)-(6) относится к классу задач целочисленного квадратичного программирования с булевыми переменными, а (7), (2)-(4), (6) – целочисленного линейного программирования с булевыми переменными и смешанными ограничениями [2] и для их решения могут применяться как приближенные [3], так и точные методы [4].

Для применения в реальных условиях решение задач распределения (перераспределения) задач по ВК БИУС должно осуществляться в достаточно жестких временных рамках, что накладывает определенные ограничения на применяемые для их решения методы.

Для решения формализованных задач предложено и экспериментально проверено использование метода роя частиц [5-8].

В методе роя частиц (МРЧ) каждое потенциальное решение представлено точкой в поисковом пространстве, называемой частицей. При этом моделируется многоагентная система, где агенты-частицы итераци-

онно движутся к оптимальным решениям, обмениваясь при этом информацией с соседями. Процесс решения продолжается до достижения требуемого значения критерия остановки (достижение предельного числа итераций, достижение определенного значения целевой функции, сходимость алгоритма [6]).

Перемещения частиц в рое организовано по схеме, представленной на рис. 1 [5]. Каждая i -я частица характеризуется следующими параметрами: $X_i = \{x_{ij}\}$ – положение частицы; $V_i = \{v_{ij}\}$ – скорость частицы; $Y_i = \{y_{ij}\}$ – личное наилучшее положение частицы, $i = 1, 2, \dots, M$; $j = 1, 2, \dots, n$, M – число частиц в рое; n – размерность пространства поиска, $n = N$; v_{ij} – j -е измерение вектора скорости i -й частицы; $r_1(t)$, $r_2(t)$ – случайные числа в интервале от 0 до 1; c_1 , c_2 – масштабирующие коэффициенты; w_c – коэффициент инерции; $y_{ij}(t)$ – значение j -й координаты лучшего положения i -й частицы; $\hat{y}_j(t)$ – значение j -й координаты лучшего положения частиц в рое, $i = 1, 2, \dots, N$; $j = 1, 2, \dots, n$.

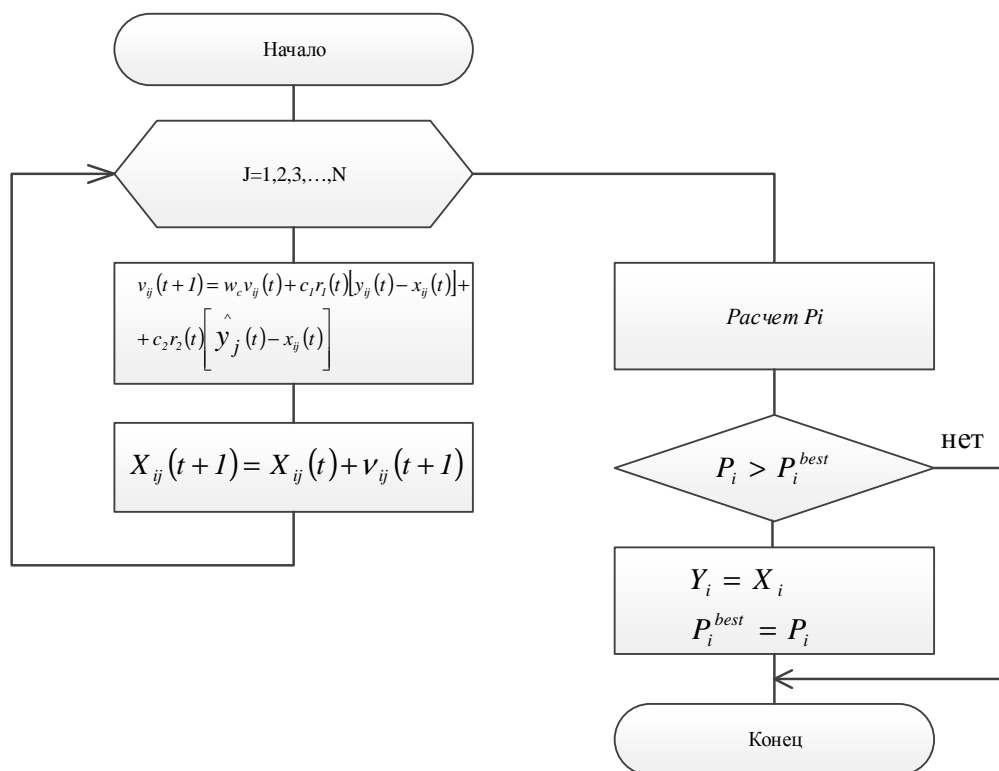


Рис. 1. Схема одного шага алгоритма МРЧ по изменению положения i -й частицы

МРЧ, используя приведенные механизмы, обеспечивает устойчивую сходимость решения к некоторому локальному экстремуму, «качество» которого зависит от начальной инициализации частиц. Скорость сходимости и близость получаемого решения к экстремуму зависят от выбора параметров c_1 , c_2 , w_c .

Экспериментально определено, что наилучшие результаты при решении задачи выбора рабочих частот МРЧ получает при значениях $c_1 = 0.4$, $c_2 = 0.6$ [8].

В общем случае МРЧ сходится к локальному экстремуму решаемой задачи, качество каторого зависит от начальной инициализации частиц.

Для получения более стабильного и высокого по качеству результата предлагается использовать островную схему реализации данного алгоритма, аналогичную, примененной в [9, 10].

Одновременно и независимо друг от друга работают несколько простых МРЧ со своими совокупностями частиц. Каждый из них, в следствие случайной начальной инициализации исходного множества частиц, в ходе выполнения заданного количества шагов сходится к своему локальному экстремуму (острову). С определенной периодичностью (через заданное число шагов (итераций)), по определенной схеме МРЧ, обмениваются заданным числом лучших частиц (осуществляется миграция особей). После чего процесс решения продолжается. Это позволяет с большей вероятностью получить лучшее решение (в том числе достичь глобального экстремума). Совокупность шагов алгоритма, завершающаяся обменом лучшими особями между островами (миграцией особей), составляет одну итерацию островной схемы МРЧ.

Подобная схема позволяет обеспечить выход простых МРЧ в каждом из островов из области локального экстремума, обеспечить большее разнообразие частиц и с большей вероятностью получить лучшее решение (в том числе достичь глобального экстремума).

Экспериментальная проверка эффективности применения МРЧ для решения формализованных задач осуществлялась на вычислительной системе со следующими характеристиками: CPU – Intel Core i7-3632QM 2.2ГГц; ОЗУ-6Гб; ОС – MS Windows 8.1 64. Полученные результаты представлены на рис. 2 и 3.

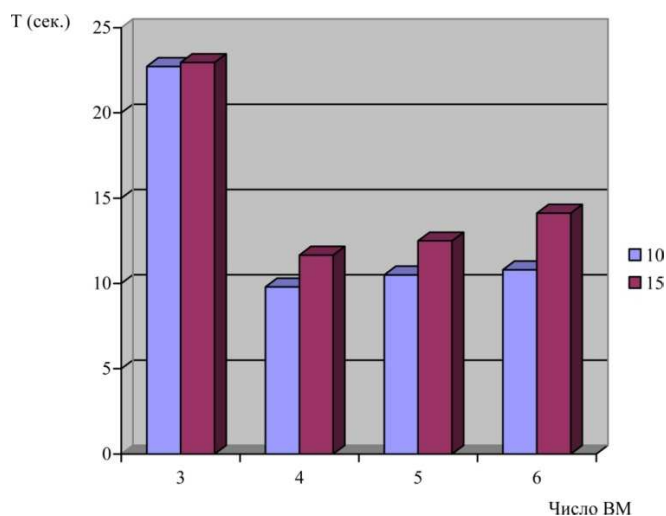


Рис. 2. Зависимость времени решения задачи распределения ПМ по VM от числа вычислительных модулей

На рис. 2 представлена зависимость времени решения задач по распределению 10 и 15 ПМ в зависимости от числа ПМ. Из рисунка видно, что время решения растет незначительно с ростом числа ВМ И ПМ. При этом снижение числа ВМ ниже 4 эквивалентно существенному увеличению жесткости ограничений, что приводит к возникновению большого числа промежуточных вариантов решения, не удовлетворяющих ограничениям задачи, что приводит к необходимости генерации новых частиц и увеличивает время решения.

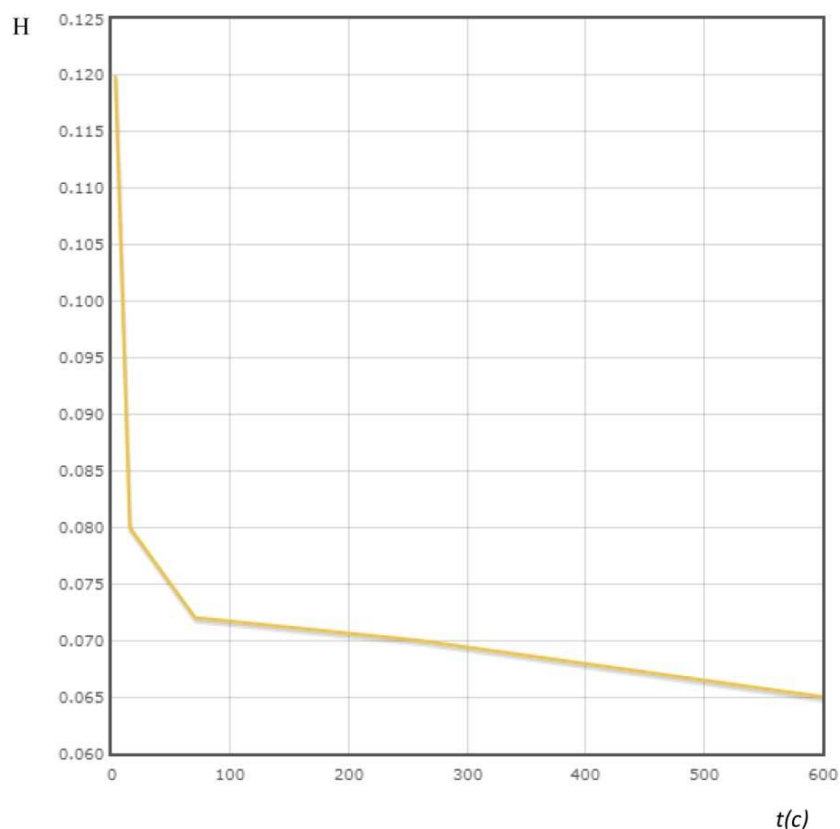


Рис. 3. Зависимость значения целевой функции от времени решения задачи распределения ПМ по ВМ ($M = 20$, $K = 6$)

На рис. 3 представлена зависимость значения целевой функции решаемой задачи от времени решения. Из рисунка видно, что при увеличении времени решения задачи МРЧ, значение целевой функции асимптотически стремится к оптимальному значению. При этом увеличение времени решения в 6 раз приводит к улучшению качества получаемого решения всего на 2-3 %, что свидетельствует о возможности определения рационального времени решения задачи в условиях жестких временных ограничений.

Таким образом, экспериментальная проверка показала эффективность применения МРЧ для решения задач распределения вычислительных ресурсов в БИУС. МРЧ является нечувствительным к виду целевой функции и ограничений решаемой задачи. Островная схема организации вы-

числений в МРЧ хорошо поддается распараллеливанию, что позволяет осуществлять распределенное решение формализованных задач непосредственно на ВМ БИУС.

Список литературы

1. Есиков О.В., Старожук Е.А., Хомяков К.А. Математические модели распределения вычислительных ресурсов в бортовых информационных и управляющих системах по критерию равномерной загрузки // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2015. Вып. 9. С. 96-102.

2. Алексеев О.Г. Комплексное применение методов дискретной оптимизации. М.: Наука, 1987. 248 с.

3. Михалевич В.С., Волкович В.Л. Вычислительные методы исследования и проектирования сложных систем. М.: Наука, 1982. 285 с.

4. Киселев В.Д., Есиков О.В., Кислицын А.С. Теоретические основы оптимизации информационно-вычислительного процесса и состава комплексов средств защиты информации в вычислительных сетях / под. ред. Е.М.Сухарева. М.: Полиграфсервис. XXI век, 2003. 200 с.

5. Есиков О.В., Румянцев В.Л., Старожук Е.А. Применение роевых алгоритмов для решения задачи выбора рабочих частот радиотехнических средств системы управления воздушным движением // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2016. Вып. 3. С. 85-91.

6. Eberhart R.C., Kennedy J. Particle swarm optimization // Proc. IEEE Intern. Conf. on Neural Networks. Piscataway (NJ): IEEE Service Center, 1995. 4. P. 1942–1948. 50.

7. Clerc M. Particle swarm optimization. Hoboken (NJ): Wiley-Interscience, 2006. 243 p.

8. Есиков О.В., Абрамов П.И. Иванов В.В. Многоагентные алгоритмы обучения искусственных нейронных сетей // Труды российского научно-технического общества радиотехники, электроники и связи им. А.С. Попова. Серия: Научные сессии Тульской областной организации. Вып. XXXIII. Тула: Изд-во ТулГУ, 2015. С. 71-75.

9. Есиков Д.О. Оценка эффективности методов решения задач обеспечения устойчивости функционирования распределенных информационных систем // Международный научно-практический журнал «Программные продукты и системы». Т. 30. № 2. Изд. НИИ «Центрпрограммсистем». Россия. Тверь. 2017. С. 241-257.

10. Yesikov D.O., Ivutin A.N. Rational values of parameters of island genetic algorithms for the effective solution of problems of ensuring stability of functioning of the distributed information systems // 12-16 June 2016. 5th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO) 2016. P. 309-312.

Есиков Олег Витальевич, д-р техн. наук, проф., главный специалист, cdbae@cdbae.ru, Россия, Тула, АО Центральное конструкторское бюро аппаратостроения,

Цыбин Станислав Михайлович, ведущий инженер, inf@cdbae.ru, Россия, Тула, АО Центральное конструкторское бюро аппаратостроения,

Чернышков Александр Игоревич помощник начальника отдела, niriopaii@mail.ru, Россия, Пенза, Пензенский артиллерийский инженерный институт

APPLICATION OF THE METHOD OF PARTICLE SWARM TO SOLVE THE PROBLEM OF THE DISTRIBUTION OF THE COMPUTATIONAL RESOURCES ON-BOARD INFORMATION AND CONTROL SYSTEMS ACCORDING TO THE CRITERION OF BALANCED LOAD

O.V. Esikov, S.M. Tsybin, A. I. Chernyshkov

Formalized the problem of optimizing the distribution of software modules in the system computing resources on-Board information and control systems according to the criterion of uniform load. The proposed implementation of the method of particle swarm to solve the developed mathematical models. Experimental evaluation of the efficacy of the method of particle swarm optimization for formalized tasks.

Key words: on-Board information and control systems, computing process, discrete optimization.

Esikov Oleg Vitalyevich, doctor of technical sciences, professor, chief specialist, cdbae@cdbae.ru, Russia, Tula, JSC CDBAE,

Tsybin Stanislav Mikhailovich, leading engineer, inf@cdbae.ru, Russia, Tula, JSC CDBAE,

Chernyshkov Alexander Igorevch, assistant head of department, niri-opaii@mail.ru, Russia, Penza, Penza artillery engineering Institute

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОДХОДОВ И МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ

А.В. Зубрилин

Исследование существующих подходов и методов решения оценки энергопотребления для описания различных энергетических подсистем.

Ключевые слова: аккумуляторная батарея, электрическая энергия, разрядная ёмкость, зарядная ёмкость, внешние характеристики батареи.

Расчет энергопотребления является важным для любой электротехники. В настоящий момент существуют различные методы определения затрат энергии, ёмкости, разряженности аккумулятора в энергетической подсистеме того или иного оборудования. Примером источника питания могут служить аккумуляторные батареи, которые относятся к химическим источникам тока. Химические источники тока являются преобразователями химической энергии непосредственно в электрическую. Во время работы (разряда) происходит химическая реакция взаимодействия двух реагентов. Энергия этой реакции выделяется в виде энергии постоянного электрического тока и тепла. Химические источники тока по своей сути являются накопителями энергии $\mathcal{E}_{ХИТ}$, рассчитанными на длительный режим работы. Выражение для энергии, накопленной в химическом источнике тока, имеет вид:

$$\mathcal{E}_{\text{ХИТ}} = \int_0^t UI dt, \quad (1)$$

где U – напряжение, I – ток, t – время.

Следует отметить, что важнейшими показателями источников являются удельная энергия и удельная мощность, т.е. энергия или мощность, отнесенные к единице массы или объема. При наличии однородных потребителей химические источники тока обладают наилучшими показателями по сравнению с другими источниками (удельная энергия более 500 Дж/г).

Тяговые аккумуляторные батареи как источник электрической энергии описываются обычно двумя способами:

- семейством разрядных характеристик;
- семейством внешних характеристик.

Разрядная характеристика представляет собой зависимость напряжения на клеммах аккумулятора U_{δ} от времени t при постоянном значении разрядного тока I и температуры батареи T_{δ} :

$$U_{\delta} = f(t), I = \text{const}; T_{\delta} = \text{const}. \quad (2)$$

Располагая разрядной характеристикой, можно определить время работы батареи τ_m при её разряде до минимально допустимого напряжения.

Так как напряжение аккумуляторной батареи зависит от тока нагрузки, его можно считать функцией двух переменных, т.е.

$$U_{\bar{0}} = f(t, I), T_{\bar{0}} = const. \quad (3)$$

Функциональная связь между напряжением на батарее при разряде и независимыми величинами I, t может быть представлена поверхностью в 3-мерном пространстве. Общий вид этой поверхности представлен на рис.1.

Каждое сечение поверхности $U_{\bar{0}} = f(t, I)$ плоскостью $I = const$ дает разрядную характеристику.

В некоторых случаях для описания разряда аккумуляторной батареи удобно пользоваться характеристиками, снятыми при постоянной мощности разряда P :

$$U_{\bar{0}} = f(t), P = const; T_{\bar{0}} = const \quad (4)$$

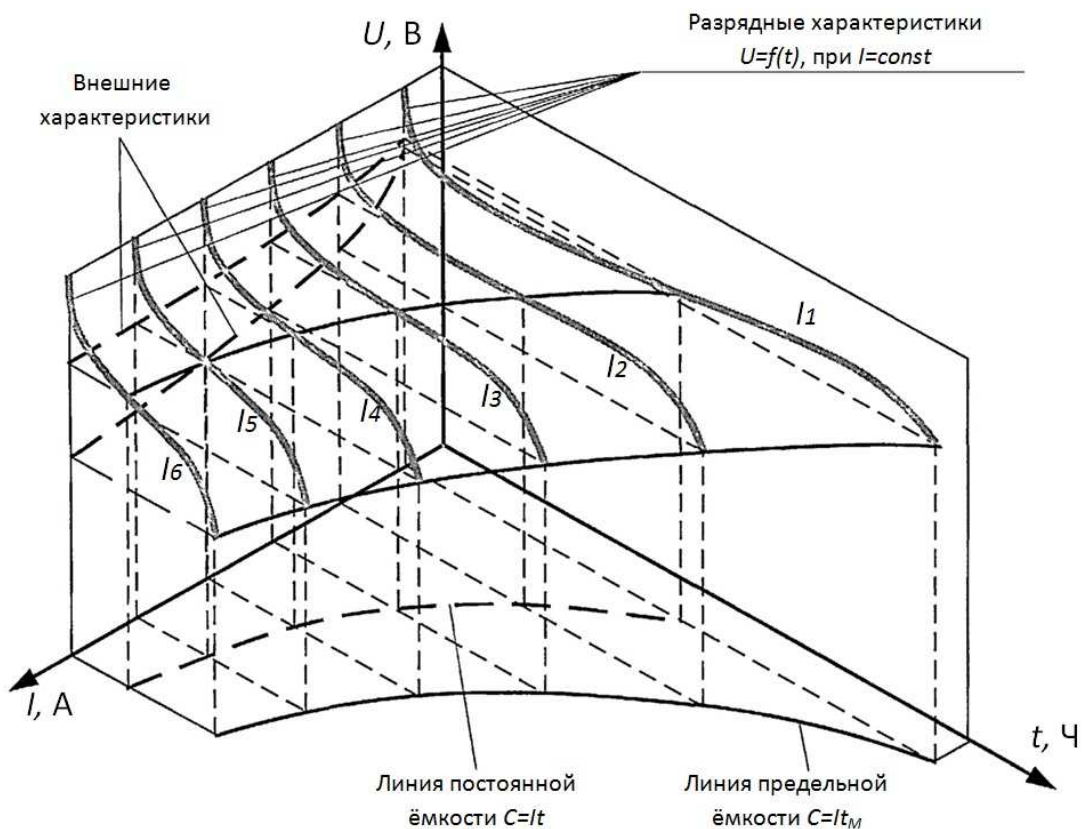


Рис. 1. Поверхность, характеризующая режимы разряда батареи

Значение тока в этом случае непостоянно, по мере разряда батареи напряжение снижается, а ток возрастает: $I = P / U$.

В режиме заряда батарея аналогичным образом может описываться семейством зарядных характеристик - зависимостью напряжения на клеммах батареи от времени при постоянном или ступенчатом токе заряда I_3 и температуре батареи T_6 .

К интегральным характеристикам тяговой аккумуляторной батареи в первую очередь можно отнести разрядную емкость – количество электричества, отдаваемого батареей при разряде заданным током I за время t_m до определённого значения напряжения:

$$C_P = \int_0^{t_m} I(t) dt. \quad (5)$$

Номинальная разрядная ёмкость батареи определяется при постоянном токе и температуре. В зависимости от типа батареи и требований стандарта номинальная ёмкость может определяться в различных режимах. Для тяговых аккумуляторных батарей, как правило, используются пяти-, трёх- и одночасовые режимы разряда. За единицу измерения ёмкости аккумуляторной батареи принимают ампер-час (А·ч), т.к. использование системы СИ кулон (Кл) неудобно из-за больших значений ёмкости батарей (1Кл = 1А·с). Величина емкости может быть определена как заштрихованная площадь прямоугольника ABCD (рис.2). Что касается сторон этого прямоугольника, то они связаны соотношением Пейкертта:

$$I^n \cdot \tau_m = K_m, \quad (6)$$

где n и K_m – постоянные коэффициенты; τ_m - максимальное время разряда, ч; I – постоянный ток разряда, А.

Аналогично определению разрядной ёмкости для характеристики количества электричества, сообщённого батарее при заряде, используют понятие зарядной ёмкости.

Второй интегральной характеристикой батареи можно считать количество энергии, которое можно получить от тяговой батареи при заданном постоянном токе нагрузки. Эту энергию можно представить как

$$W_6 = I \cdot \int_0^{\tau_m} U_6(t) dt, \quad (7)$$

где W_6 - энергия разряда, Вт·ч.

Интегрирование производится до момента времени τ_m , соответствующего минимально допустимому напряжению разряда. Энергия, определяемая по формуле (3), соответствует объему тела, показанному на рис. 2.

Рассматриваемый объем представляет собой призму, основанием которой является площадь ABEF под кривой разрядного напряжения, а высотой - ток нагрузки I . По мере увеличения тока нагрузки объем

уменьшится, так как при этом его размеры по вертикали и вдоль оси времени снижаются в большей степени, чем повышение тока нагрузки.

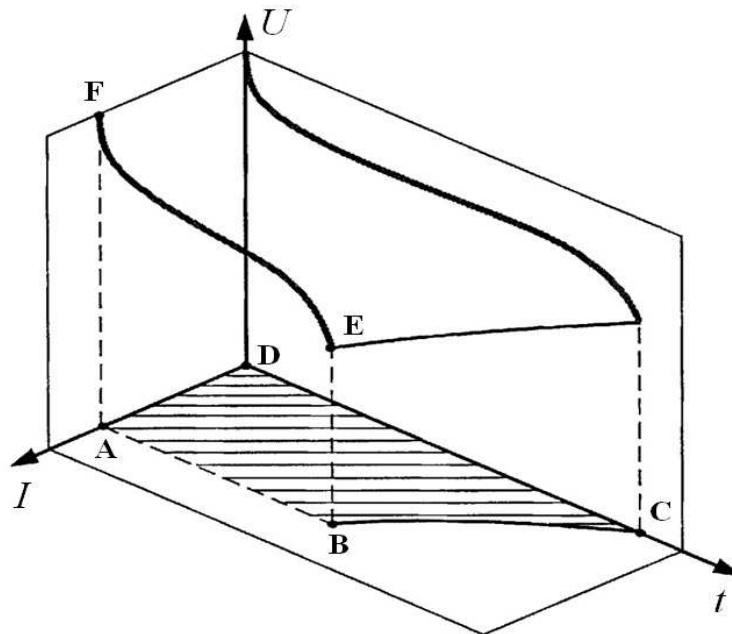


Рис. 2. Геометрическая интерполяция энергии и емкости АБ

Важным параметром, характеризующим тяговую аккумуляторную батарею, является отдаваемая мощность

$$P_{\bar{o}} = I \cdot U_{\bar{o}}(t, I). \quad (8)$$

При выборе батареи следует учитывать возможности отдачи максимальной мощности на нагрузку. При ускорениях автомобиля и преодолении уклонов необходимо, чтобы ток нагрузки батареи был меньше токов батареи, определяющих потенциальный максимум мощности. Принимая во внимание, что $U_{\bar{o}} = f(t, I)$ описывает семейство кривых разряда батареи, следует сделать вывод, что мощность тяговой аккумуляторной батареи есть функция не только разрядного тока, но и состояния батареи, т.е. степени ее разряженности.

Внешние характеристики батареи являются одним из удобных средств описания свойств аккумуляторной батареи как источника энергии. Внешнюю характеристику батареи обычно определяют как

$$U_{\bar{o}} = f(t, I) \text{ при } \Delta Q = \frac{Q}{Q_m} = \frac{I \cdot t}{I \cdot t_m} = \frac{t}{t_m} = const, \quad (9)$$

где Q - ёмкость, отданная батареей при разряде ее током I за время t от начала разряда; Q_m - предельная ёмкость, отдаваемая батареей при разряде ее до минимального допустимого напряжения, соответствующего времени t_m ; ΔQ - степень разряженности батареи по ёмкости.

Величина ΔQ имеет смысл доли предельной ёмкости, отданной батареей. Из (9) следует, что $\Delta Q \in [0;1]$.

Учитывая соотношение Пейкерта и условие (9), получим:

$$t = \Delta Q \cdot t_m = \frac{\Delta Q \cdot K}{I^n}. \quad (10)$$

Из (10) следует, что

$$\Delta Q = \frac{t \cdot I^n}{K} = const, \quad (11)$$

что эквивалентно заданию кривой типа гиперболы на плоскости (I, t) , при этом ординаты поверхности $U_{\delta} = f(t, I)$ над этой кривой соответствуют ординатам внешней характеристики. Спроектировав полученную кривую на плоскость (U_{δ}, I) , получим внешнюю характеристику батареи.

На рис.3 приведены четыре внешние характеристики, соответствующие различным значениям степени заряженности по ёмкости. Недостатком внешних характеристик по ёмкости является различие в энергиях, соответствующих равным количествам отданной емкости. Другими словами, если при разряде батареи током I , переход от точки «а» к «b» соответствует определенному количеству энергии ΔW_{ab} , то переход от точки «b» к «с» дает ΔW_{bc} и т.д.

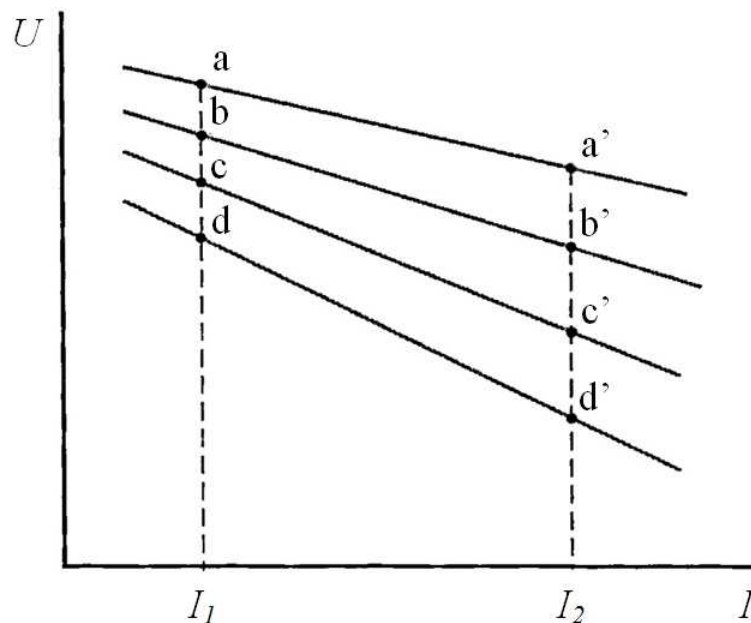


Рис. 3. Внешние характеристики батареи для различных значений степени заряженности

При этом $\Delta W_{ab} > \Delta W_{bc} > \Delta W_{cd}$. Аналогично зависимости для тока $I_2 > I_1 : \Delta W'_{ab} > \Delta W'_{bc} > \Delta W'_{cd}$.

Очевидно, что $\Delta W_{ab} > \Delta W'_{ab} ; \Delta W_{bc} > \Delta W'_{bc} ; \Delta W_{cd} > \Delta W'_{cd}$.

Таким образом, хотя линиям внешних характеристик по ёмкости соответствуют равные количества полученных ампер-часов, такое семейство характеристик неравномерно по распределению энергии, отдаваемой тяговой аккумуляторной батареей. Это обстоятельство осложняет ряд энергетических расчетов батарей. Так как потребление электроэнергии является переменным во времени и зависит от многих факторов, то возникают сложности в определении параметров источников питания. Минусом подобных задач расчета энергетической подсистемы является то, что они индивидуальны для каждого отдельного случая, что увеличивает трудоемкость проектирования.

Список литературы

1. Кошелев П.А., Парамонов С.В. Инженерные методы расчета систем электропитания. СПб: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2007. 28 с.
2. Электротехнический справочник : в 4 т. Т.3. Производство, передача и распределение электрической энергии / под общ. ред. В.Г. Герасимова. М.: Изд-во МЭИ, 2004. 964 с.

Зубрилин Алексей Васильевич, асп., draconis-crimson@mail.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет

STUDY OF APPROACHES AND METHODS FOR EVALUATION OF EXISTING ENERGY

A.V. Zubrilin

The study of existing approaches and methods for solving evaluation of energy consumption to describe the various energy sub-systems.

Key words: battery, electric power, discharge capacity, storage capacity, the external characteristics of the battery.

Zubrilin Aleksey Vasilyevich, postgraduate, draconis-crimson@mail.ru, Russia, Tula, Tula State University

ПРЕДПЕЧАТНАЯ ПОДГОТОВКА 3D-МОДЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

А.В. Зубрилин, М.В. Тагильцев

Рассматриваются основные этапы подготовки 3D-модели для печати по технологии FDM и соответствующее программное обеспечение. Среди программ-слайсеров был выбран оптимальный слайсер и на его примере проведена подготовка и нарезка модели для печати на FDM 3D принтере.

Ключевые слова: 3D-принтер, 3D-модель, FDM, слайсер, Skeinforge, KISSlicer, Slic3r, предпечатная подготовка.

Предпечатная подготовка 3D-модели является важной процедурой для печати по технологии FDM. Создание качественного прототипа по FDM технологии из 3D-модели является не простой задачей, ввиду ряда ограничений данной технологии. Для преодоления этих ограничений проводится предпечатная подготовка, которая доводит модель до вида, удовлетворяющего критериям печати по технологии FDM. При подготовке приходится решать проблему точного повторения геометрической формы, собираемости, внешнего вида и поиска материалов. Проведение правильной подготовки 3D-модели позволяет избежать нарушения геометрии и различных дефектов при печати прототипа.

Ещё на этапе создания 3D-модели для печати по FDM-технологии стоит учитывать размеры её отдельных элементов и её общие габариты. FDM-принтер не сможет напечатать деталь меньшего размера, чем диаметр используемого сопла. Если габариты 3D-модели превышают максимальные размеры области печати принтера, то такую модель стоит разделить на части для последующей склейки. Для таких частей стоит предусмотреть подходящие способы соединения и воспроизвести их элементы на частях 3D-модели.

На модели необходимо выделить плоское основание, которое будет приклеиваться в столу для фиксации и с которого начнётся печать прототипа. Это необходимо для сохранения геометрии модели и во избежание смещений модели по осям координат. Если на модели сложно выделить такое основание или его площадь мала, то для такой модели необходимо подготовить подложку (рафт), напечатанную из отличного материала от материала будущего прототипа, для последующего растворения в воде или спирте.

3D-модель, состоящую из нескольких пересекающихся объектов, следует сводить к единому объекту, иначе пересекающиеся рёбра и грани могут привести к порче модели при резке программой слайсером (программа для перевода 3D-модели в управляющий код для 3D-принтера.).

При FDM-печати следует стараться избегать нависающих элементов в 3D-модели, так как печать таких элементов требует печати поддержек, которые впоследствии придётся удалять. Иногда лучше разбить 3D-модель на несколько элементов и напечатать их отдельно с последующей склейкой.

Сохранять модель для последующей обработки в программе слайсере требуется в формате, поддерживаемом в этой программе, чаще всего это формат STL.

После экспорта 3D-модели в слайсер необходимо подходящим образом расположить модель на виртуальном столе, повернуть по мере необходимости для размещения других моделей и отмасштабировать.

Далее следует перейти к настройкам печати, сначала указать характеристики принтера и материала, из которого будет выполняться печать, задать соответствующие параметры, затем перейти к настройкам самой 3D-модели: выбрать толщину стенок и основания, высоту слоя, уровень и метод заполнения и другие настройки. От этих настроек будут зависеть характеристики прототипа, скорость печати, расход материала.

Для полых 3D-моделей или 3D-моделей с нависающими элементами необходимо сгенерировать поддерживающие конструкции (поддержки) и настроить их соответствующим образом для экономии материала и простоты последующего удаления с прототипа.

После выполнения всех настроек модель разрезают. По завершении процесса можно визуальнo оценить полученные слои и траекторию экструдера. При возникновении ошибок или "хрупких" мест следует устранить их более точными настройками. На выходе программа сохраняет G-code для 3D-принтера.

Существует множество программных продуктов для предпечатной подготовки 3D-моделей, некоторые из них идут в комплекте с FDM-принтером, некоторые выполняют только более узкие задачи, например Autodesk Meshmixer для создания поддержек.

Skeinforge — мощная программа слайсер для детальной настройки принтера и его калибровки (рис. 1). В настройке "Тип профиля" выбирается профиль для 3D-принтера, затем материал для данного профиля.

Skeinforge viewer (рис. 2) позволяет просматривать полученные слои после нарезки, чтобы впоследствии производить правки.

KISSlicer — одна из самых новых программ слайсеров для FDM 3D-принтеров с расширением функциональности относительно других программных продуктов (рис. 3).

Программа KISSlicer имеет наглядную визуализацию, возможность быстро и просто размещать несколько моделей на столе, умеет производить расчёты стоимости и затраченного материала на будущий прототип, создавать поддержки для 3D-модели и гибко настраивать их.

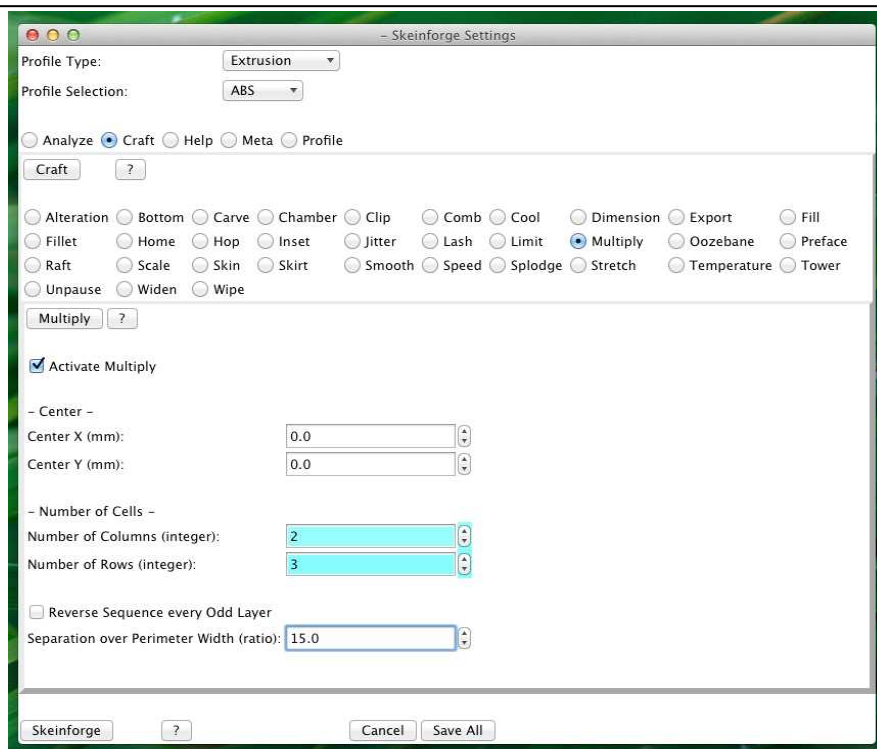


Рис. 1. Интерфейс Skeinforge

Таблица 1

Основные настройки Skeinforge

Bookend/Вкладки	Файлы, содержание которых добавляется в сгенерированный G-код
Bottom/Дно	Управление высотой нижнего слоя
Crave/Нарезка	Настройки нарезки по слоям
Chamber/Камера	Управление температурами сопла, стола
Clip/Отсечка	Настройки петелек заполнения
Cool/Охлаждение	Настройки вентиляторов и замедления работы принтера для охлаждения
Export/Экспорт	Настройка формата вывода кода
Fill/Заполнение	Настройки заполнения
Fillet/Округление	Выбор способа округления
Hop/Прыжок	Подъём экструдера в момент простоя
Lash/Рывок	Настройки для компенсации люфтов
Preface/Предисловие	Настройка нулевой точки, позиционирования, выбор единиц измерения
Scale/Масштаб	Настройки масштабирования
Speed/Скорость	Настройки скорости
Tower/Башня	Настройки разделения периметров
Skin/Кожа	Плагин для гладкой поверхности прототипа
Skirt/Юбка	Настройка перегородки вокруг модели, что печатается в самом начале
Wipe/Протирка	Путь вытирания сопла о стол

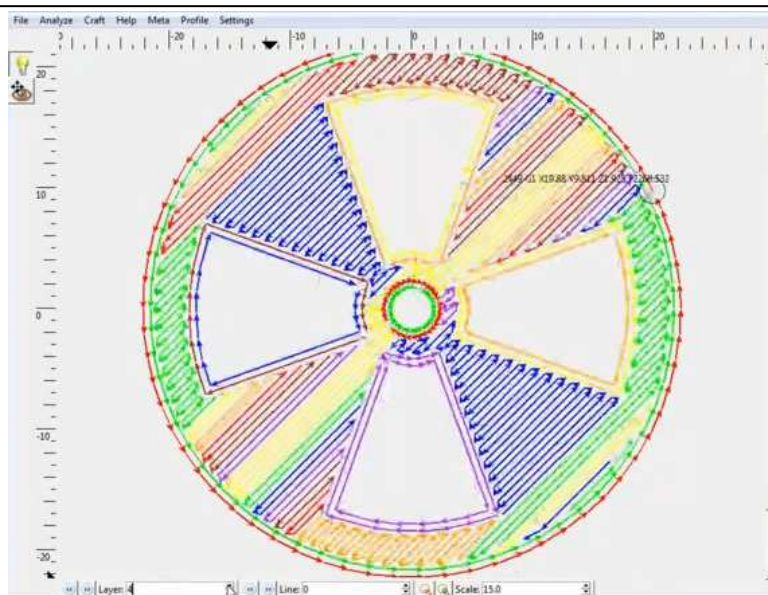


Рис. 2. Skeinforge viewer

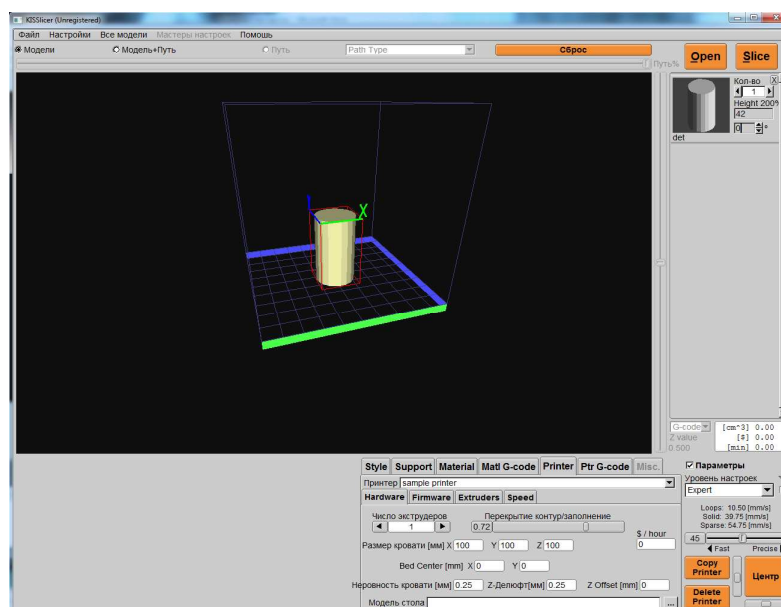


Рис. 3. Программа KISSlicer

KISSlicer является многопоточным приложением, поэтому производит нарезку модели значительно быстрее.

Основные настройки печати и калибровки производятся во вкладках:

- Style — указываются ширина экструдера, толщина дна и крышки модели (параметр "Толщина стенок", мм, он должен быть кратным параметру "Высота слоя", и не меньше четырёх слоёв), толщина стенок модели в витках (количество витков которое сделает экструдер по периметру слоя), плотность заполнения, ширина и высота слоя, выбор направления печати периметра, угол для разброса старта пути (для скрытия шва).

- Support — отвечает за генерацию поддерживающих конструкций, в ней настраивается качество этих конструкций (параметр используется для экономии материала и увеличения скорости печати модели), настраивается минимальный угол нависающей части модели, имеются параметры для более тонкой настройки поддерживающих конструкций, чтобы в дальнейшем они не сказались на качестве печатаемой модели.

- Material — выбирается материал для печати и делаются соответствующие для него настройки: диаметр нити, температуры разных частей принтера, стола, печатающей головки и т.д. Сюда входят настройки по управлению охлаждением и вентиляторами (Fan/Cool), параметры, обозначенные в Destrung отвечают за отсутствие образования нитей при перемещении экструдера с одного периметра на другой. Flow Adjust отвечает за калибровку подачи пластика в принтере.

- Printer — выполняются настройки непосредственно под конкретный 3D-принтер (число и материалы экструдеров, прошивка, скорости).

Slic3r — программа для создания G-code по 3D-модели (рис. 4). Имеет множество уже готовых настроек для различных FDM-принтеров. Умеет исправлять ошибки в неподготовленных 3D-моделях и экспортирует в формат AMF.

Настройки программы состоят из трёх основных окон:

- Print Setting — настройки печати.
- Filament Setting — настройка пластика.
- Printer Setting — настройка принтера.

В окнах Filament Setting и Printer Setting вводятся и настраиваются параметры используемого принтера и материала.

В окне Print Setting производятся настройки толщины и количества слоёв, случайная точка начала печати, количество сплошных слоёв в основании, направления и приоритеты печати, тут же присутствуют настройки внутреннего заполнения, шаблона заполнения, плотность заполнения, в процентах, в отдельных вкладках настраиваются скорости и температуры для печати.

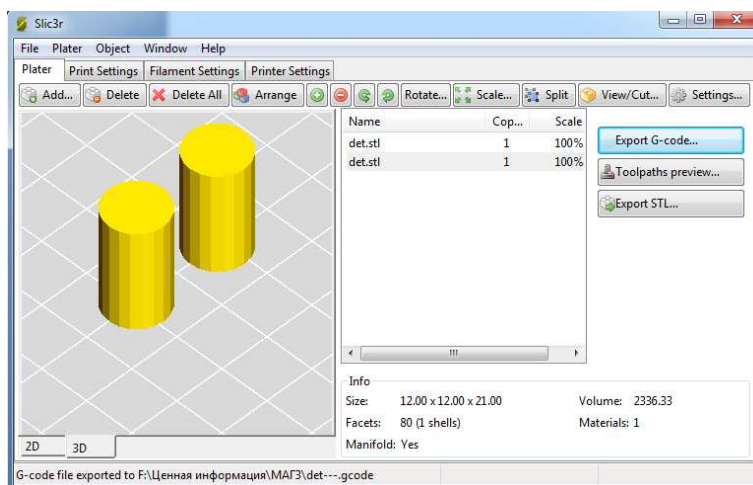


Рис. 4. Программа Slic3r

При выборе программы слайсера в первую очередь надо ориентироваться на его работу в используемой операционной системе. Все приведённые слайсеры умеют работать в ОС Windows, но Slic3r не поддерживает латиницу, поэтому существуют проблемы его запуска на русскоязычных учётных записях. Skeinforge не обладает рядом функций, поэтому его использование может стать затруднительным. Все остальные характеристики приведены в табл. 2.

Таблица 2

Сравнение программ слайсеров

Операция	Skeinforge	KISSlicer	Slic3r
Визуализация 2D	Есть	Есть	Есть
Визуализация 3D	Нет	Есть	Есть
Поддержка нескольких моделей	Нет	Есть	Есть
Создание поддержек	Нет	Есть	Есть
Необходимое дополнительное ПО	Python 2.7.X Java 5.0 и выше	–	–
Русификация	Нет	Есть	Нет
Функциональность	Высокая	Высокая	Высокая
Расчёт израсходованного материала	Нет	Есть	Нет
Поддержка другого оборудования с ЧПУ	Есть	Нет	Нет
Многопоточность приложения	Нет	Есть	Есть
Скорость нарезки модели	Низкая	Высокая	Высокая
Исправление сетки 3D-модели	Нет	Нет	Есть
Спец. вставки G-code	Есть	Есть	Есть
Поддерживаемые ОС	Windows Linux Mac OS X	Windows Linux	Windows Linux Mac OS X

Из приведённых данных самым оптимальным является KISSlicer, который отвечает всем требованиям.

Выбирая или создавая нужную модель, необходимо сохранять её в формате, поддерживаемом программой слайсером. Для KISSlicer это STL, если нужная модель уже имеется, но сохранена в другой формат, её нужно конвертировать в формат STL с помощью CAD-приложений (рис. 5).

После размещения модели на столе и её масштабирования по мере необходимости, нужно произвести настройки используемого материала и принтера на вкладках Material и Printer (рис. 6).

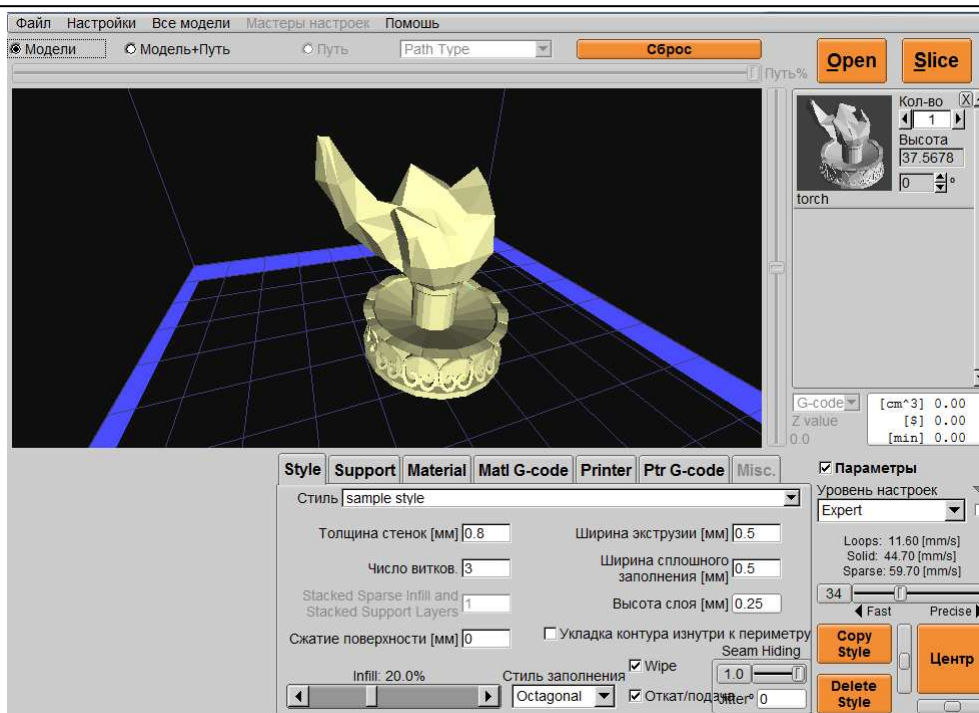


Рис. 5. Загруженная модель в KISSlicer

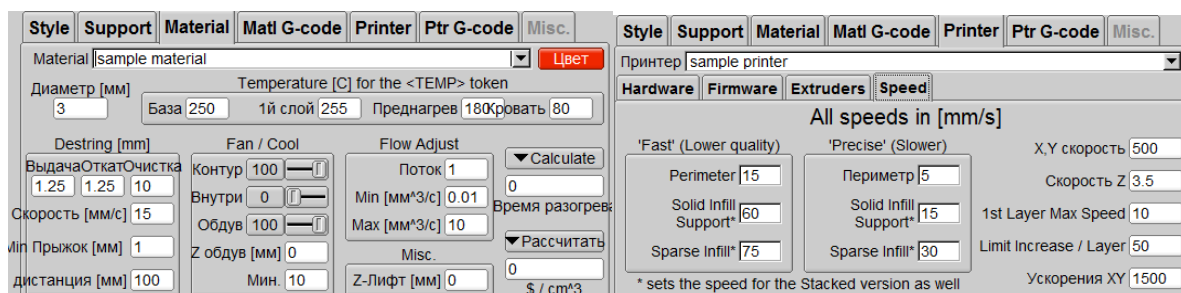


Рис. 6. Вкладки Material и Printer

Далее следует произвести настройки толщины стенок, высоты слоя, толщины основания, плотности заполнения, направления и приоритета печати, угла разброса старта пути; всё выполняется на вкладке Style (рис.7).

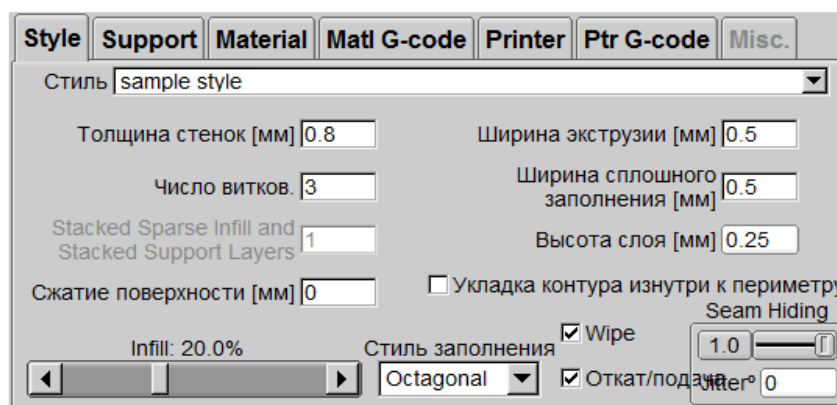


Рис. 7. Параметры во вкладке Style

Затем проводят настройки во вкладке Support (рис. 8), в которой находятся настройки генерации поддержек.

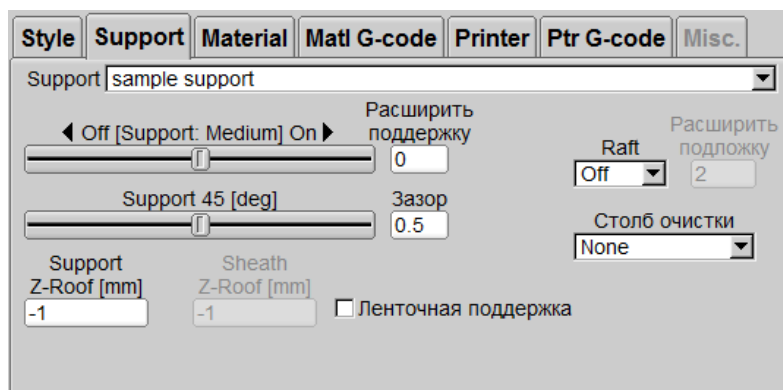


Рис. 8. Вкладка генерации поддерживающих конструкций

Выполнив все настройки, осуществляем нарезку, после чего можно провести анализ получившихся слоёв, поддержек, пути экструдера и провести более детальную настройку (рис. 9).

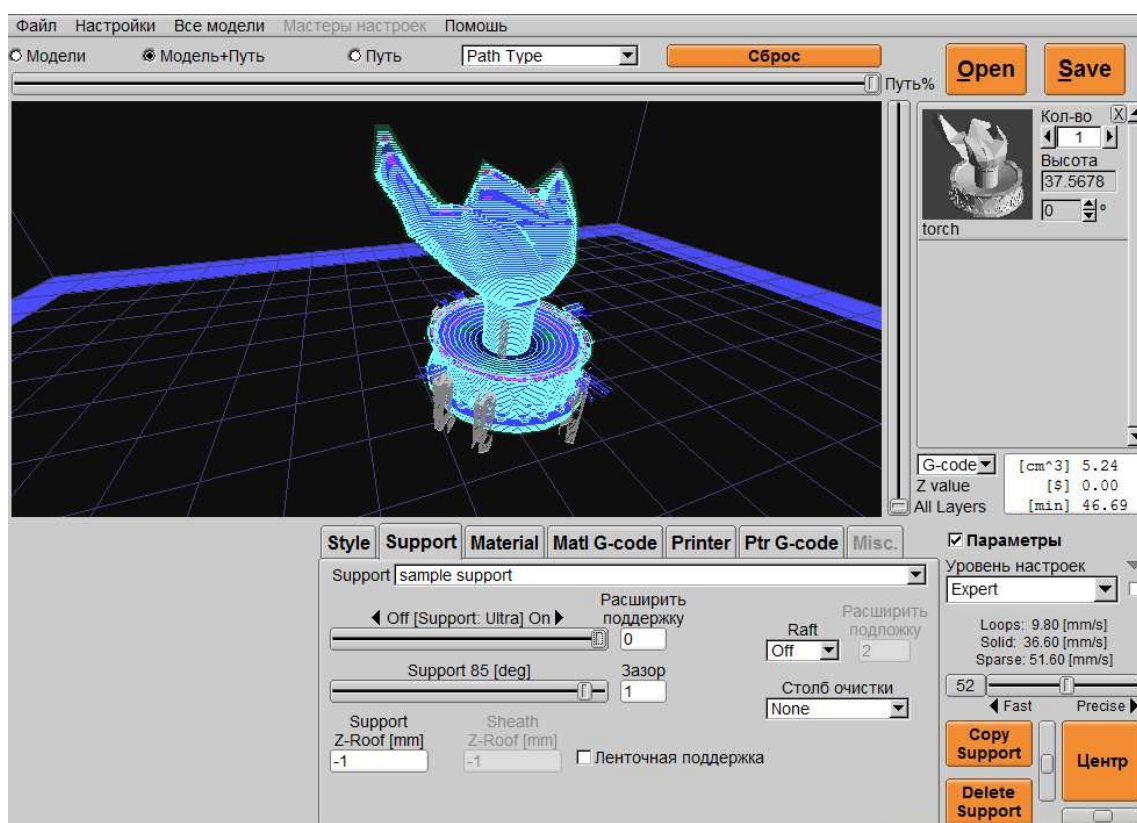


Рис. 9. Выполнение операции нарезки

После подготовки модели к печати сохраняем G-code для 3D принтера.

Список литературы

1. Canessa E., Fonda C., Zennaro M. Доступная 3Д-печать для науки, образования и устойчивого развития. ICTP, 2013. 123 с.
2. Афанасьев К. 3D-принтеры. Статья. 3DNews, 2004. [Электронный ресурс] URL: <http://www.3dnews.ru/peripheral/3d-print/> (дата обращения: 20.09.2017).
3. KISSlicer. Спецификация, 2013. 11 с.
4. Slic3r. Спецификация, 2012. 18 с.
5. Skineforge. Спецификация, 2011. 13 с.

Зубрилин Алексей Васильевич, асп., draconis-crimson@mail.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет,

Тагильцев Михаил Владиславович, асп., medved57@mail.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет

3D PRINTING MODELS PREPRESS WITH THE USE OF SPECIALIZED SOFTWARE

A.V. Zubrilin, M.V. Tagil'tsev

The main stages of prepress a 3D model for printing using FDM technology and corresponding software are considered. Among the slicer programs, the optimal slicer was selected and, on its example, the preparation and cutting of the model for printing on a FDM 3D printer was carried out.

Key words: 3D-printer, 3D-model, FDM, slicer, Skeinforge, KISSlicer, Slic3r, prepress.

Zubrilin Aleksey Vasilyevich, postgraduate, draconis-crimson@mail.ru, Russia, Tula, Tula State University,

Tagil'tsev Michael Vladislavovich, postgraduate, medved57@mail.ru, Russia, Tula, Tula State University

ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМОЙ ТРЕНАЖЕРА: ПРОГРАММНЫЕ МОДУЛИ

Л.И. Корягина

Рассматривается управление динамической платформы тренажера. Показано, что оно осуществляется на основе УТЗ, которое делится на программные модули. Программные модули разрабатываются на основе моделирования временных и информационных характеристик алгоритмов. Показано, что каждый программный модуль состоит из подпрограмм, каждая из которых отвечает за определенное движение платформы.

Ключевые слова: динамическая платформа, УТЗ, программный модуль, управление, информационное подобие.

Управление динамической платформой является сложной и важной задачей, так как от нее зависит, насколько точно будет создана иллюзия перемещения в пространстве тренажера.

Задачи управления строятся в первую очередь из УТЗ (учебно-тренировочной задачи).

Управление динамической платформой включает в себя программный продукт, реализующий УТЗ, который соответственно разделяется на ряд программных модулей. Каждый модуль отвечает за определенные действия / движение платформы, каждый модуль может как автономно работать от других модулей, и совместно с другим модулем.

Разработка и отладка программных модулей ведется с использованием моделирования временных и информационных характеристик алгоритмов с учетом реализации их на конкретных ЭВМ с известными или прогнозируемыми ресурсными параметрами (составом команд, быстродействием процессора, объемами разного типа запоминающих устройств, наличием контроллеров для связи с периферийными блоками и т.п.). Кроме того, как правило, известны параметры системного программного обеспечения компонентов управляющей ЭВМ.

В состав пакета управления подвижной платформой тренажера включаются следующие программные модули:

1. Драйверы аналого-цифровых преобразователей сигналов датчиков сенсорной подсистемы тренажера.
2. Драйверы цифро-аналоговых преобразователей управляющих сигналов приводов исполнительных устройств подвижной платформы тренажера.
3. Программа-имитатор внешнего воздействия на подвижный наземный объект, включая программу, рассчитывающую микрорельеф дороги, и программу, рассчитывающую силовые нагрузки на ПНО при движении по естественным неровностям (подъемам и спускам).

4. Программы формирования статических характеристик имитаторов органов управления подвижного наземного объекта, близких к реальным.

5. Программа, моделирующая силовую установку ПНО.

6. Программа, моделирующая реакцию реального ПНО на воздействия оператора на органы управления ПНО.

7. Программа расчета параметров продольного движения ПНО.

8. Программа расчета параметров поперечного движения ПНО (маневров в поперечном направлении).

9. Программа, моделирующая реакцию подрессоренной массы кабины ПНО на воздействие дороги, т.е. собственных колебаний кабины в продольном и поперечном направлениях.

10. Программа коррекции, рассчитывающая управляющие воздействия на приводы подвижной платформы тренажера.

Следовательно, в задачи управления динамической платформы входит написание программных модулей, которые отвечают за имитацию движения и полностью воссоздают иллюзию движения боевой техники и нахождения обучаемого.

Список литературы

1. Brown D.A. Military use seen for visual simulators // *Aviation Week and Space Technology*. 1977. Vol. 107. N. 23. P. 60 - 63.

2. Brown D.A. Simulator aids aircraft // *Aviation Week and Space technology*. 1972. Vol. 96. N. 6. P. 38 - 41.

3. Brown L.L. Visual elements in flight simulation // *Aviation, Space and Environmental Medicine*. 1976. N. 9. Vol. 47. P. 19 - 28.

4. Feuer A., Morse A.S. Adaptive control of single-input, single-output linear systems // *IEEE Trans. on Automat. Control*. 1978. Vol. 23. N 4. P. 557 - 569.

5. Fradkov A.L., Stotsky A.A. Speed gradient adaptive algorithms for mechanical system // *International Journal of Adaptive Control and Signal Processing*. 1992. Vol. 6. P. 211 - 220.

6. Курочкин С.А., Ларкин Е.В. Моделирование движения наземного объекта в тренажере // *Проблемы специального машиностроения*. 2003. Вып. 6. Т. 2. С. 190 - 197.

7. Курочкин С.А., Ткач В.П. Использование тренажерных систем для обучения личного состава // *Проблемы специального машиностроения*. 2005. Вып. 8. С. 292 - 297.

8. Курочкин С.А., Ткач В.П., Ларкин Е.В. Моделирование программного обеспечения тренажерных комплексов // *Известия ТулГУ. Сер. «Вычислительная техника. Информационные технологии. Системы управления»*. Т. 1. Вып. 2. Системы управления. 2005. С. 110 - 118.

9. Курочкин С.А., Ткач В.П., Ларкин Е.В. Проблема защищенности информации в тренажерных комплексах // Интеллектуальные и информационные системы: материалы межрегиональной научно-технической конференции. Тула: ТулГУ, 2005. С. 37 - 40.

Корягина Лилия Игоревна, асп., Liela-Lili@yandex.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет

TASK CONTROL DYNAMIC SIMULATOR PLATFORM: SOFTWARE MODULES

L.I. Koryagina

Task control dynamic platform simulators are based on the ERD, and ERD, respectively, is divided into a number of software modules, each of which is responsible for certain actions of a dynamic platform.

Key words: dynamic platform, ERD, software module management, information similarity.

Koryagina Lilia Igorevna, postgraduate, Liela-Lili@yandex.ru, Russia, Tula, Tula state University

УДК.681.5.01

СИНТЕЗ ПАРАМЕТРОВ УПРАВЛЕНИЯ В УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЕ ТРЕНАЖЕРА

Л.И. Корягина

Рассматривается создание динамического подобия движения тренажера реальному объекту при перемещениях в пространстве. Рассматривается линейная задача синтеза.

Ключевые слова: динамическое подобие, релевантные параметры, критерий подобия, евклидово расстояние, линейная задача синтеза.

Динамическое подобие тренажера реальному объекту при механических перемещениях в пространстве обеспечивается двумя факторами. Во-первых, технические средства тренажера должны перемещаться таким образом, чтобы можно было сформировать одинаковые N -мерные пространства релевантных параметров как для реального объекта, так и для его физической модели. Во-вторых, при одинаковых управляющих воздействиях вектор состояний тренажера $\Xi = (\xi_1, \dots, \xi_n, \dots, \xi_N)^T$ и объекта $X = (x_1, \dots, x_n, \dots, x_N)^T$ должны совершать в указанном пространстве одинаковые перемещения, что и будет означать обеспечение принципа подобия (рис. 1).

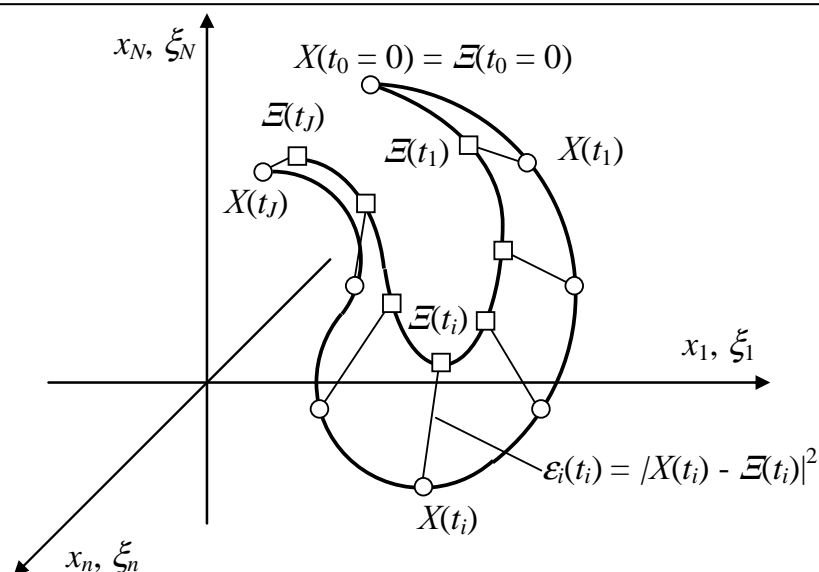


Рис. 1. Годографы векторов состояния реального объекта и его физической модели в пространстве релевантных параметров

На рис. 1 показаны векторы релевантных параметров объекта $X = (x_1, \dots, x_n, \dots, x_N)^T$ и тренажера $E = (\xi_1, \dots, \xi_n, \dots, \xi_N)^T$; кружочками и квадратиками обозначены соответственно состояния объекта

$$X(t_i) = [x_1(t_i), \dots, x_n(t_i), \dots, x_N(t_i)]^T \quad (1)$$

и тренажера

$$E(t_i) = [\xi_1(t_i), \dots, \xi_n(t_i), \dots, \xi_N(t_i)]^T \quad (2)$$

в i -й момент времени t_i .

Критерий подобия в данном случае имеет вид евклидова расстояния:

$$\varepsilon(t) = \int_0^t \sum_{n=1}^N [x_n(\tau) - \xi_n(\tau)] d\tau. \quad (3)$$

При проектировании информационно-измерительной и управляющей систем тренажера ошибка (1) должна быть минимизирована.

Рассмотрим пространство релевантных параметров $Z = (\zeta_1, \dots, \zeta_n, \dots, \zeta_N)$. К релевантным переменным пространства Z при воспроизведении движения ПНО относятся продольные и поперечные линейные перемещения, угловые перемещения, а также их производные. Состояния объекта и тренажера описываются векторами (1) и (2). При изменении времени t концы векторов описывают в пространстве релевантных параметров соответствующие годографы.

Сначала рассмотрим линейную задачу синтеза, как наиболее простую. При этом будем предполагать, что:

- 1) векторы воздействия на объект и тренажер совпадают;
- 2) на релевантные параметры объекта и тренажера не наложено никаких ограничений.

Задача заключается в определении характера и параметров преобразования вектора воздействия на тренажер, обеспечивающих идентичность годографов $X(t)$ и $\Xi(t)$ в пространстве Z .

Пусть объект и тренажер в пространстве релевантных параметров описываются линейными уравнениями:

$$\dot{X} = A_o X + B_o U ; \quad (4)$$

$$\dot{\Xi} = A_s \Xi + B_s U , \quad (5)$$

где U - вектор воздействия на объект, равный вектору воздействия на тренажер; A_o, A_s, B_o и B_s - квадратные матрицы размерами $N \times N$;

$$U(t) = [u_1(t), \dots, u_n(t), \dots, u_N(t)]^T; \quad (6)$$

$$A_o = \begin{pmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} & \dots & a_{1N} \\ & & \dots & & \\ a_{n1} & \dots & a_{nn} & \dots & a_{nN} \\ & & \dots & & \\ a_{N1} & \dots & a_{Nn} & \dots & a_{NN} \end{pmatrix}; \quad (7)$$

$$A_s = \begin{pmatrix} \alpha_{11} & \dots & \alpha_{1n} & \dots & \alpha_{1N} \\ & & \dots & & \\ \alpha_{n1} & \dots & \alpha_{nn} & \dots & \alpha_{nN} \\ & & \dots & & \\ \alpha_{N1} & \dots & \alpha_{Nn} & \dots & \alpha_{NN} \end{pmatrix}; \quad (8)$$

$$B_o = \begin{pmatrix} b_{11} & \dots & b_{1n} & \dots & b_{1N} \\ & & \dots & & \\ b_{n1} & \dots & b_{nn} & \dots & b_{nN} \\ & & \dots & & \\ b_{N1} & \dots & b_{Nn} & \dots & b_{NN} \end{pmatrix}; \quad (9)$$

$$B_s = \begin{pmatrix} \beta_{11} & \dots & \beta_{1n} & \dots & \beta_{1N} \\ & & \dots & & \\ \beta_{n1} & \dots & \beta_{nn} & \dots & \beta_{nN} \\ & & \dots & & \\ \beta_{N1} & \dots & \beta_{Nn} & \dots & \beta_{NN} \end{pmatrix}. \quad (10)$$

Применим методику Коши для решения задачи, полагая, что для преобразования Лапласа радиус абсолютной сходимости стремится к нулю, и поэтому к (4) и (5) применимо преобразование Фурье. С использованием теоремы о дифференцировании оригинала выражения (4) и (5) примут вид алгебраических уравнений в операторной форме:

$$j\omega X(j\omega) = A_o X(j\omega) + B_o U(j\omega) + X^0 ; \quad (11)$$

$$j\omega \Xi(j\omega) = A_s \Xi(j\omega) + B_s U(j\omega) + \Xi^0 , \quad (12)$$

где $j = \sqrt{-1}$; ω - круговая частота; $X(j\omega)$, $\Xi(j\omega)$, $U(j\omega)$ - преобразования Фурье от соответствующих векторов, выполняемое для их компонент по зависимости (1.11); X^0 , Ξ^0 - начальные значения соответствующих векторов в момент времени $t = 0^+$ ($t > 0$).

При решении задачи можно предположить, что в начальный момент времени, при $t = 0^+$, и подвижный наземный объект, и тренажер находятся в исходном состоянии, в котором и ПНО находится в состоянии покоя на горизонтальной поверхности, и подвижная платформа тренажера отгоризонтирована и находится в состоянии покоя. Перенесем члены, находящиеся в левой части (11) и (13) в правую часть, и с учетом того, что $X^0 = 0$ и $\Xi^0 = 0$, будем иметь

$$A'_o X(j\omega) + B_o U(j\omega) = 0; \quad (13)$$

$$A'_s \Xi(j\omega) + B_s U(j\omega) = 0, \quad (14)$$

где

$$A'_o = \begin{pmatrix} a_{11} - j\omega & \dots & a_{1n} & \dots & a_{1N} \\ & & \dots & & \\ a_{n1} & \dots & a_{nn} - j\omega & \dots & a_{nN} \\ & & \dots & & \\ a_{N1} & \dots & a_{Nn} & \dots & a_{NN} - j\omega \end{pmatrix}; \quad (15)$$

$$A'_s = \begin{pmatrix} \alpha_{11} - j\omega & \dots & \alpha_{1n} & \dots & \alpha_{1N} \\ & & \dots & & \\ \alpha_{n1} & \dots & \alpha_{nn} - j\omega & \dots & \alpha_{nN} \\ & & \dots & & \\ \alpha_{N1} & \dots & \alpha_{Nn} & \dots & \alpha_{NN} - j\omega \end{pmatrix}. \quad (16)$$

В (15) и (16) $a_{11} - a_{NN}$ - действительные коэффициенты, поэтому ранг матриц A'_o и A'_s равен N , а это значит, что их определители не равны нулю.

Очевидно, что если годографы $X(t)$ и $\Xi(t)$ совпадают, то совпадают и их спектры Фурье. Поэтому выразим из первого уравнения

$$X(j\omega) = -(A'_o)^{-1} B_o U(j\omega). \quad (17)$$

Подставив (17) в (14), будем иметь:

$$A'_s (A'_o)^{-1} B_o U(j\omega) = B_s U(j\omega). \quad (18)$$

Для того чтобы выражение (18) превратилось в тождество, необходимо выполнение равенства

$$A'_s (A'_o)^{-1} B_o = B_s. \quad (19)$$

Это и будет необходимым условием совпадения годографов $X(t)$ и $\Xi(t)$ в пространстве релевантных параметров.

Докажем достаточность условия (19). Пусть указанное условие выполняется, но годографы $X(t)$ и $\Xi(t)$ не совпадают. Подставим значение для B_s из (19) в (14) будем иметь:

$$A'_s \Xi(j\omega) + A'_s (A'_o)^{-1} B_o U(j\omega) = 0. \quad (20)$$

Вследствие того, что для главного определителя матрицы A'_s выполняется условие

$$\det A'_s \neq 0,$$

левая и права части равенства (3.20) могут быть умножены на матрицу $(A'_s)^{-1} A'_o$, при этом (20) преобразуется к виду

$$A'_o \Xi(j\omega) + B_o U(j\omega) = 0. \quad (21)$$

Заменяя в (21) $\Xi(j\omega)$ на $X(j\omega)$, получим (13), что и доказывает достаточность условия (19).

Список литературы

1. Brown D.A. Military use seen for visual simulators // Aviation Week and Space Technology. 1977. Vol. 107. N. 23. P. 60 - 63.
2. Brown D.A. Simulator aids aircraft // Aviation Week and Space technology. 1972. Vol. 96. N. 6. P. 38 - 41.
3. Brown L.L. Visual elements in flight simulation // Aviation, Space and Environmental Medicine. 1976. Vol. 47. N. 9. P. 19 - 28.
4. Feuer A., Morse A.S. Adaptive control of single-input, single-output linear systems // IEEE Trans. on Automat. Control. 1978. Vol. 23. N 4. P. 557 - 569.
5. Fradkov A.L., Stotsky A.A. Speed gradient adaptive algorithms for mechanical system // International Journal of Adaptive Control and Signal Processing. 1992. Vol. 6. P. 211 - 220.
6. Курочкин С.А., Ларкин Е.В. Моделирование движения наземного объекта в тренажере // Проблемы специального машиностроения. 2003. Вып. 6. Т. 2. С. 190 - 197.
7. Курочкин С.А., Ткач В.П. Использование тренажерных систем для обучения личного состава // Проблемы специального машиностроения. 2005. Вып. 8. С. 292 - 297.
8. Курочкин С.А., Ткач В.П., Ларкин Е.В. Моделирование программного обеспечения тренажерных комплексов // Известия ТулГУ. Серия «Вычислительная техника. Информационные технологии. Системы управления». Системы управления. 2005. Т. 1. Вып. 2. С. 110 - 118.
9. Курочкин С.А., Ткач В.П., Ларкин Е.В. Проблема защищенности информации в тренажерных комплексах // Интеллектуальные и информационные системы: материалы Межрегиональной научно-технической конференции. Тула: ТулГУ, 2005. С. 37 - 40.

Корягина Лилия Игоревна, асп., Liel-Lili@yandex.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет

SYNTHESIS CONTROL PARAMETERS IN CONTROL SYSTEM SIMULATOR

L.I. Koryagina

To create a dynamic similarity dynamic motion platforms in simulators should: a) the platform should move in such a way that it is possible to form the same N-dimensional space of relevant parameters; b) should be the principle of similarity.

Key words: dynamic similarity, the relevant parameters, the criterion of similarity, Euclidean distance, linear synthesis problem.

Koryagina Lilia Igorevna, postgraduate, Liel-Lili@yandex.ru, Russia, Tula, Tula state University

УДК 004.91

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ОРГАНИЗАЦИИ ПОИСКА В МАЛЫХ ЛОКАЛЬНЫХ БАЗАХ ДАНЫХ

Б.В. Костров, Р.В. Хруничев

Описывается процесс формирования алгоритмической структуры организации поиска в малых локальных базах данных с низким уровнем организации хранения документов, реализованной в виде модульной структуры программного комплекса. Приведена разработанная последовательность применения алгоритмов при организации поиска, а также основные этапы, реализуемые данными алгоритмами. Характерной особенностью является анализ разработанной структуры с указанием возможных вариантов применения сочетания алгоритмов в разной их последовательности при поиске.

Ключевые слова: лингвистическая обработка текста, локальный поиск, статистическая обработка слов, хеширование по сигнатуре, алгоритм поиска, зонный поиск, векторная модель поиска.

Современное состояние поиска в малых локальных базах. Актуальность эффективного документального поиска уже несколько десятилетий остается одной из важнейших задач информационного поиска в целом. Эксперты обращают внимание, что значительное количество рабочего времени сотрудники компаний тратят на поиск документов [1-4]. В частности, отмечается особый характер локального поиска как такового, поскольку исследования в этом направлении ведутся не столь активно как для глобального поиска, что связано с низкой рентабельностью таких проектов. Следует отметить, что задачи и условия поиска даже в пределах локальных баз данных порой значительно разнятся, в связи с чем приходится выделять задачу локального поиска в малых базах данных в отдельный класс.

1. Решение задачи локального поиска в малых базах. В ряде статей авторами проведены исследования в области документального поиска в малых локальных базах данных с низким уровнем организации хранения документов [5-9]. Предложено дифференцировать процедуру поиска по ключевым этапам.

На первом этапе предполагаются предварительная лингвистическая и статистическая обработки текстовой коллекции документов:

выделение лексем из всех документов;

применение «стоп-словаря» для отсева незначимых слов;

обработка полученного массива стеммером Портера для выделения основ лексем;

лемматизация основ слов, чтобы привести «псевдоразличные» термы к единому основанию, что позволяет значительно сократить количество участвующих в анализе термов и сократить их среднюю длину;

применение предметно-ориентированных словарей для учета тематической направленности документов и отсева неинформативной части текстов;

частотный анализ остаточного массива термов, чтобы отсеять термы с частой встречаемостью как неинформативные и с низким рангом как не несущие смысловой нагрузки.

Отметим, что выполнение таких операций для локального поиска в малых базах данных является оправданным, поскольку вычислительные мощности ограничены и количество термов в анализе не должно быть велико.

Далее, также в целях повышения быстродействия и уменьшения вычислительных затрат, предложено произвести кластеризацию термов по принципу одинаковой сигнатуры [9], для чего потребовалась модификация метода хеширования по сигнатуре [5].

В качестве модели поиска обоснованно выбрана векторная модель [10], а для решения задачи нечеткого поиска разработан алгоритм сравнения индексных последовательностей с возможным изменением в одном бите индекса терма на основе метода ветвей и границ [9].

В целях расширения возможностей разрабатываемой поисковой системы произведен отбор атрибутов, удовлетворяющих задаче локального поиска [7]. С одной стороны, использование атрибутов документов при поиске не приводит к значительному увеличению вычислительных затрат, а с другой значительно повышает качество и эффективность поиска и позволяет производить поиск даже в том случае, когда практически никакой информации о документе нет. При поиске по отдельным атрибутам позволяет производить сортировку документов в выдаче.

Для сочетания векторной модели поиска и учета атрибутов документов применен и модифицирован зонный принцип поиска на основе инвертированных индексов. Произведена оценка весов термов и отдельных

зон. Сформирована итоговая векторная модель, не только описывающая документ с содержательной стороны, но и приводящая дополнительную информацию в виде атрибутов. При решении задачи ранжирования документов в выдаче векторная модель также удобно применяется в сочетании с косинусной метрикой [8].

2. Разработка структуры программного комплекса. На основе разработанных и модифицированных алгоритмов необходимо создать структуру их последовательного применения для реализации на практике программного комплекса в виде информационно-поисковой системы в малых локальных базах данных.

При анализе структуры алгоритмов и их функционального предназначения в предлагаемой структуре программного комплекса явно прослеживается создание двух отдельных программ.

Первая программа выполняет непосредственное сканирование текстовой коллекции документов и реализует алгоритмы вплоть до создания векторного пространства термов, т.е. по сути является программой обработки и анализа документов.

Вторая программа направлена на непосредственное осуществление поиска и ранжирования документов по запросу пользователя. Кроме того, в случае запроса, содержащего ошибку, которая повлекла изменение в одном бите сигнатуры, происходит обращение к алгоритму сравнения индексных последовательностей на основе метода ветвей и границ.

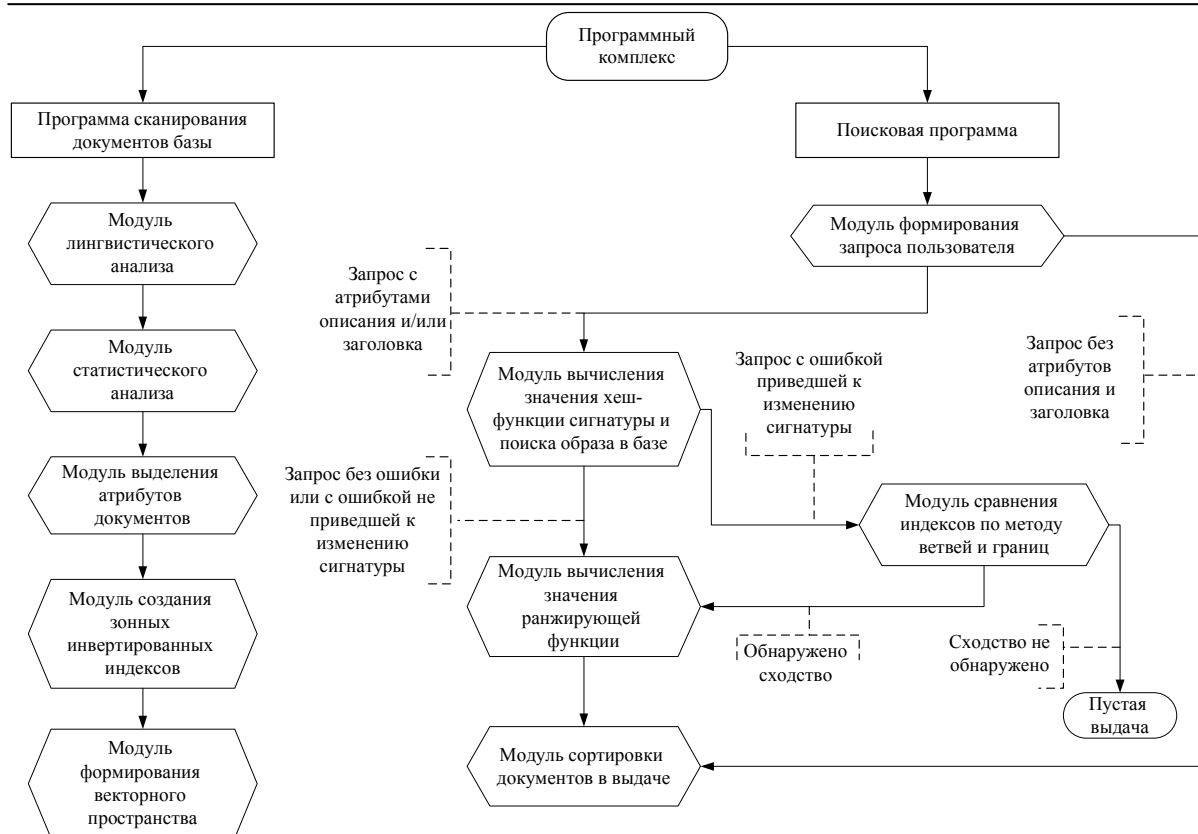
В рамках каждой программы применим модульный принцип при формировании структуры, который позволяет вести одновременную параллельную разработку модулей – отдельных подпрограмм, реализующих конкретный алгоритм. Это позволит сократить временные затраты [10, 11] на разработку комплекса и повысить качество за счет применения командного принципа разработки [12-14].

Условно структуру программного комплекса можно представить в виде рисунка.

Как видно из рисунка, работа первой программы – программы сканера – является последовательным выполнением обозначенных алгоритмов по анализу текстов и направлена на обработку всех документов текстовой коллекции и формирование итогового векторного пространства.

Работа второй программы – программы взаимодействия с пользователем или поисковой программы – уже является более сложной, и образующие ее алгоритмы могут участвовать или не быть задействованы в различных ситуациях.

Поясним работу поисковой программы. Зонный принцип учета атрибутов предполагает возможность организации поиска как по одному из них, так и по всем сразу или различному их сочетанию. В зависимости от этого программа может отработать как поисковый алгоритм или как сортировщик документов в выдаче.



Структура программного комплекса

Предположим пользователем утрачена информация о содержании документа или его названии (запрос без атрибутов описания и заголовка), но известен приблизительная дата его создания (или диапазон дат), и/или его формат, и/или его разработчик, в этом случае программа поисковик выступает как сортировщик по заданным ограничениям.

Если в запросе присутствуют атрибуты описания или заголовка, то в этом случае активируются алгоритм вычисления значения хеш функции сигнатуры терма и поиск его соответствия (образа) в базе. При таком запросе возможны два варианта ветвления структуры следования и задействование различных алгоритмов.

В первом случае, когда запрос введен корректно или ошибка в запросе не привела к изменению сигнатуры, полученному значению хеш-функции будет найдено единственное соответствие в базе и будут найдены документы, содержащие данный термин.

В противном случае, когда по значению хеш функции не найдено соответствия в базе или в полученном соответствии находится кластер с терминами, имеющими одинаковую сигнатуру, приходится применять алгоритм сравнения индексных последовательностей на основе метода ветвей и границ [9]. Если по данному алгоритму найден терм, то происходят обращение к ранжирующему алгоритму и выдача результатов пользователю, но

возможно, что метод не выдаст совпадений (например, когда ошибка в запросе привела к изменению в двух битах индекса) и пользователь получит пустую выдачу.

Заключение. Применение модульного принципа при разработке структуры программ [12] и, в совокупности, программного комплекса позволяет выстроить четкую логическую структуру поиска и на каждом этапе проследить работу программы, что в целом позволяет повысить качество поиска и минимизировать временные затраты на отладку работы программы или ее составляющих алгоритмов.

Преимуществом данной структуры также является возможность применения командного подхода к процессу разработки и быстрой модификации алгоритмов при необходимости, что имеет место при применении программного комплекса на малых локальных базах с различным содержательным контентом. Отметим, что применяемые алгоритмы являются гибкими и на практике позволяют быстро изменить регулируемые (подстроечные) параметры в зависимости от структуры и содержания базы данных, что также позволяет повысить качество и эффективность поиска и не приводит к значительным временным задержкам при организации поиска.

Список литературы

1. Национальный корпус русского языка. Сайт. Режим доступа: [Электронный ресурс] URL: <http://www.ruscorpora.ru/index.html> (дата обращения: 25.08.2017).
2. Кристофер Д. Маннинг, Прабхакар Рагхаван, Хайнрих Шютце. Введение в информационный поиск: пер. с англ. М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2011. 528 с.
3. Цукерт А.Г. Проблемы и перспективы информационного поиска // Изв. Таганрог. гос.радиотехн. ун-та. 2001. Т. 21. № 3. С. 194–201.
4. Задачи поисковых систем. Режим доступа: [Электронный ресурс] URL: <http://asknet.ru/Technology/searchtask.htm> (дата обращения: 25.08.2017).
5. Хруничев Р.В. Метаданные. Системы метаданных. Сравнительный анализ // Межвузовский сборник научных трудов «Информационные технологии в образовании». Рязань, РГРТУ, 2012.
6. Хруничев Р.В. Модернизация модели Дублинского ядра для анализа предметно-ориентированной коллекции документов посредством применения метода попозиционного взвешивания // Вестник компьютерных и информационных технологий: ежемесячный научно-технический и производственный журнал. М., 2015. №7. С. 16–22.
7. Хруничев Р.В. Применение косинусной метрики при ранжировании документов в выдаче узкоспециализированного поиска. Математические методы в технике и технологиях. Саратов. Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А. 2015. №7.

8. Хруничев Р.В. Применение метода ветвей и границ при решении задачи нечеткого поиска методом хеширования по сигнатуре в локальных базах данных // Математика и математическое моделирование, МГТУ им. Н.Э. Баумана: электрон. журн. 2017. № 03. С. 64–76.

9. Хруничев Р.В. Принципы построения многомерного пространства терминов в процессе анализа предметно–ориентированной коллекции документов // Вестник АГТУ. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2012. № 1. С. 136–141.

10. Ивутин А.Н., Ларкин Е.В. Прогнозирование времени выполнения алгоритма//Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2013. Вып. 3. С. 301 -315.

11. Ларкин Е.В., Ивутин А.Н. Определение временных интервалов в алгоритмах управления // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2014. Т. 324. № 5. С. 6-12.

12. Привалов А.Н., Ларкин Е.В. Создание программного обеспечения тренажерных систем на основе унифицированных программных модулей//Вестник компьютерных и информационных технологий. 2010. № 4. С.75 -82.

13. Ларкин Е.В., Привалов А.Н. Проектирование программного обеспечения вычислительной среды тренажерных систем. Тула: ТулГУ, 2010. 259 с.

14. Ивутин А.Н., Дараган Е.И. Построение схемы распараллеливания последовательного алгоритма программы//Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2012. Вып. 5. С. 101-109.

Костров Борис Васильевич, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой, kostrov.b.v@vmt.rsreu.ru, Россия, Рязань, Рязанский государственный радиотехнический университет,

Хруничев Роберт Вячеславович, ст. преп., вед. инж. Центра дистанционного обучения, hrunichev_robert@mail.ru, Россия, Рязань, Рязанский государственный радиотехнический университет

THE DEVELOPMENT OF THE ALGORITHMIC STRUCTURE OF THE ORGANIZATION OF SEARCH IN SMALL LOCAL DATABASES

B.V. Kostrov, R.V. Khrunichev

Present the process of formation of structure of algorithmic search in small local databases with low level organization of stored documents, implemented in a modular structure of the software complex. Designed given the sequence of applying algorithms to organize the search, as well as the main stages implemented these algorithms. A characteristic feature is the analysis of the developed structures, indicating possible applications of the algorithm combinations in different sequences in the search.

Key words: linguistic text processing, local search, statistical processing of the words, the hash for the signature algorithm of the search zone search, vector search model.

Kostrov Boris Vasilevich, doctore of technicale scienses, professor, head of chair, kostrov.b.v@evm.rsreu.ru, Russia, Ryazan, Ryazan state radio engineering University,

Khrunichev Robert Vjacheslavovich, senior lecturer, the lead eng. center of distance learning, hrunichev_robert@mail.ru, Russia, Ryazan, Ryazan state radio engineering University

УДК 681.142.2

ИНТЕРФЕЙС ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ РАСПАРАЛЛЕЛИВАНИЯ И АНАЛИЗА НЕЙРОПРОЦЕССОРНЫХ СТРУКТУР

В.Н. Ручкин, Б.В. Костров, В.А. Фулин, Д.Р. Пикулин

Предлагается интерфейс экспертной системы распараллеливания и анализа возможных нейропроцессорных структур. Разрабатывается программа реализации интерфейса на современном языке TypeScript, который является надмножеством языка JavaScript. Предлагается класс `NeuralComputerSystemStructure` и метод `getStructureType`, которые выявляют нужный тип нейро-компьютерной сети в условиях неопределенности с использованием нечетких множеств посредством нейронных сетей.

Ключевые слова: интерфейс экспертной системы, анализ нейропроцессорных структур, TypeScript, JavaScript, принятие решений, производственная модель.

Для автоматизации вычислений определения оптимальной нейро-компьютерной сети (НКС) была разработана экспертная система [2, 8]. Программа была написана на современном языке TypeScript, который является надмножеством языка JavaScript. Выбор данного языка обусловлен его относительной простотой в использовании и мощной системой типов. Любое приложение TypeScript компилируется в JavaScript, что позволяет данную экспертную систему запускать на многих платформах и операционных системах, например Windows, Linux, MacOS, Android и так далее. Пользовательский интерфейс использует библиотеку React.js для рендера и Redux для работы с состоянием приложения, что упрощает работу с графом результирующей сети с использованием библиотеки 'storm-react-diagrams', которая существенно облегчает графический вывод структур НКС пользователю.

Математический аппарат разработки экспертной системы выбора НКС был ранее описан авторами в ряде работ [1,3-7, 9-11] и позволяет представить знания о данной предметной области в виде продукционной модели. Здесь связи между фактами представлены эвристическими правилами - выражениями декларативного знания об отношениях между объектами [12-16]. Для реализации и инкапсулирования логики приложения был написан класс `NeuralComputerSystemStructure`, который может определить нужный тип нейро-компьютерной сети. Сам класс состоит из методов, каждый из которых состоит из правил продукционной модели знаний и имеет составляющую «ЕСЛИ» (предпосылка) и компонент «ТО» (заключение), которые определяют прямую и обратную причинно-следственную связь. Именно эта информация базы знаний и обрабатывается с помощью пользовательского интерфейса ввода-вывода, которая использует эмпирические ассоциации в виде правил «ЕСЛИ - ТО» для формирования и проверки возможных решений [17]. Результат работы экспертной системы пользователь получает в виде схематического изображения сети и ее типа (рис.1).

Входными данными для класса `NeuralComputerSystemStructure` является объект со следующими полями:

- `equivalenceClassesCount` - число классов эквивалентности
- `information` - тип востребованности информации
- `orderOfEachClass` - порядок каждого класса
- `dataExchange` - тип обмена данных между фрагментами
- `multiplicity` – кратность.

```
export interface InputData {  
    equivalenceClassesCount: number;  
    orderOfEachClass: number;  
    dataExchange: DataExchange;  
    information: Information;  
    multiplicity: number;  
}
```

Метод `getStructureType` предназначен для реализации продукционной модели выбора подходящей структуры. Если таковой не нашлось то метод возвращает тип структуры 'Unknown'.

```
public getStructureType(input: InputData) {  
    if (this.isPipelineStructure(input)) {  
        return Structures.Pipeline;  
    } else if (this.isNearPipelineStructure(input)) {  
        return Structures.NearPipeline;  
    } else if (this.isVectorStructure(input)) {  
        return Structures.Vector;  
    } else if (this.isPipelineVectorStructure(input)) {  
        return Structures.PipelineVector;  
    }  
}
```

```

    } else if (this.isNearPipelineVectorStructure(input)) {
        return Structures.NearPipelineVector;
    } else if (this.isMatrixStructure(input)) {
        return Structures.Matrix;
    } else if (this.isNearVectorPipelineStructure(input)) {
        return Structures.NearVectorPipeline;
    } else if (this.isVectorPipelineStructure(input)) {
        return Structures.VectorPipeline;
    } else if (this.isNearVectorStructure(input)) {
        return Structures.NearVector;
    } else {
        return Structures.Unknown;
    }
}

```

Реализация некоторых методов определения структур включает в себя описание некоторых характерных возможных структур НПС:

isPipelineStructure – проверка является ли структура конвейерной

```

private isPipelineStructure(input: InputData) {
    return (
        (input.equivalenceClassesCount == input.orderOfEachClass
            && input.orderOfEachClass == 1
            && input.dataExchange == DataExchange.Sequentially)
        || (
            input.equivalenceClassesCount == input.in-
put.equivalenceClassesCount
            && input.orderOfEachClass == input.multiplicity
            && input.dataExchange == DataExchange.Sequentially)
        || (
            input.equivalenceClassesCount == input.equivalenceClassesCount
            && input.orderOfEachClass == 1
            && input.dataExchange == DataExchange.Sequentially)
    );
}

```

isNearPipelineStructure - проверка является ли структура почти конвейерной

```

private isNearPipelineStructure(input: InputData) {
    return (
        (input.equivalenceClassesCount == input.equivalenceClassesCount
            && input.orderOfEachClass == 1
            && input.dataExchange == DataEx-
change.SequentiallyWithSmallFragmentsExclusionOfLClass) ); }

```

isVectorStructure - проверка является ли структура векторной

```

private isVectorStructure(input: InputData) {

```

```
return (
  (input.equivalenceClassesCount == input.equivalenceClassesCount
    && input.orderOfEachClass == 1
    && input.information == Information.AllFragments)
  || (
    input.equivalenceClassesCount == input.equivalenceClassesCount
    && input.orderOfEachClass == input.multiplicity
    && input.information == Information.AllFragments
  )
)
}
}

isPipelineVectorStructure- проверка является ли структура конвейерно-векторной
private isPipelineVectorStructure(input: InputData) {
  return (
    (input.equivalenceClassesCount == input.equivalenceClassesCount
      && input.orderOfEachClass == 1
      && input.dataExchange == DataExchange.SequentiallyExceptL
      && input.information == Information.AllFragmentsForL)
  );
}

isNearPipelineVectorStructure- проверка является ли структура почти конвейерно-векторной
private isNearPipelineVectorStructure(input: InputData) {
  return (
    (input.equivalenceClassesCount == input.equivalenceClassesCount
      && input.orderOfEachClass == 1
      && input.dataExchange == DataExchange.SequentiallyButSomeClassesWantInformationSimultaneously)
  );
}

isMatrixStructure- проверка является ли структура матричной
private isMatrixStructure(input: InputData) {
  return (
    (input.orderOfEachClass == input.equivalenceClassesCount)
  );
}

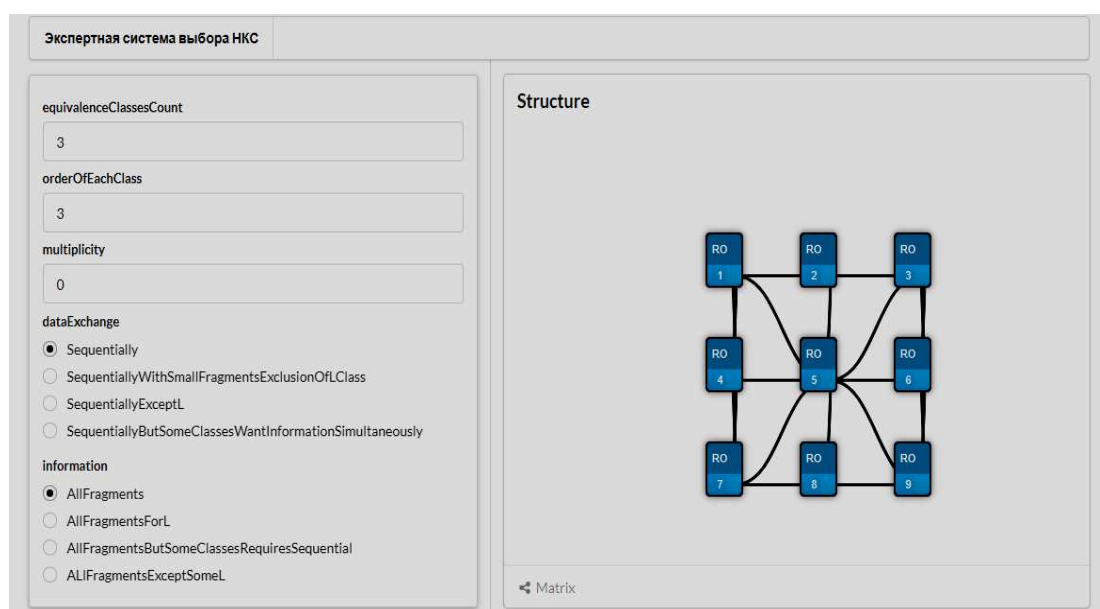
isNearVectorPipelineStructure - проверка является ли структура почти векторно - конвейерной
private isNearVectorPipelineStructure(input: InputData) {
  return (
    (input.information == Information.AllFragmentsButSomeClassesRequiresSequential)
  );
}
```

isVectorPipelineStructure - проверка является ли структура векторно-конвейерной

```
private isVectorPipelineStructure(input: InputData) {  
    return (  
        (input.information == Informa-  
tion.AllFragmentsButSomeClassesRequiresSequential)  
    );  
}
```

isNearVectorStructure - проверка является ли структура почти векторной

```
private isNearVectorStructure(input: InputData) {  
    return (  
        (input.information == Information.AllFragmentsExceptSomeL)  
    )  
}
```



Интерфейс ЭС выбора НКС

Заключение. Теоретико-множественный подход позволяет представить знания о предметной области анализа нейропроцессорной сети в виде продукционной модели с целью разработки экспертной системы выбора НКС. Современный язык TypeScript надмножества языка JavaScript позволяет упростить выбор наилучшей структуры НКС с использованием мощной системы типов. Любое приложение TypeScript компилируется в JavaScript и способствует запуску предложенной экспертной системы на многих платформах и операционных системах: Windows, Linux, MacOS, Android и так далее. Разработанный пользовательский интерфейс использует библиотеку React.js для рендера и Redux и упрощает работу с графом результирующей сети с использованием библиотеки 'storm-react-diagrams', которая существенно облегчает вывод структур НКС.

Список литературы

1. Ручкин В.Н., Костров Б.В., Колесенков А.Н. Киберфизические технологии мониторинга чрезвычайных ситуаций// Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2016. Вып. 2. С. 252-260.
2. Экспертная система нечеткой кластеризации нейропроцессорных систем / В.Н.Ручкин, В.А.Романчук, В.А.Фулин, А.А.Пролыгина // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2014. Вып. 6. С. 162-167.
3. Колесенков А.Н., Костров Б.В., Ручкин В.Н. Методика интеллектуального обнаружения, моделирования и сопровождения пожаров // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2015. Вып. 5. Ч. 2. С. 266-274.
4. Ручкин В.Н., Романчук В.А., Фулин В.А. Представление явного и неявного параллелизма на основе кластеризации компьютерных систем// Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2015. Вып. 5. Ч. 2. С. 274-284.
5. Ивутин А.Н., Ларкин Е.В. Обобщенная полумарковская модель алгоритма управления цифровыми устройствами // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2013. Вып. 1. С. 221-227.
6. Ивутин А.Н., Ларкин Е.В. Прогнозирование времени выполнения алгоритма// Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2013. Вып. 3. С. 301-315.
7. Аршакян А.А., Ларкин Е.В. Оценка координат точечных источников сигналов// Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2013. Вып. 2. С. 3-10.
8. Expert system of multi-criterion fuzzy management in selection of computing resources / B.V.Kostrov, V.N.Ruchkin, M.N.Makhmudov, V.A.Romanchuk, V.A.Fulin // International Conference on Mechanical, System and Control Engineering. 2017. P. 348-351.
9. Frame model of a compiler of cluster parallelism for embedded computing systems / V.Ruchkin, V.Romanchuk, V.Fulin, V.Lukashenko, B.Kostrov, E.Ruchkina // 6th Mediterranean Conference on Embedded Computing, MECO 2017 - Including ECYPS. 2017. Proceedings.
10. Parallelism in embedded microprocessor systems based on clustering / V.Ruchkin, V.Romanchuk, V.Fulin, B.Kostrov, E.Ruchkina // Proceedings - 2015 4th Mediterranean Conference on Embedded Computing, MECO 2015 - Including ECyPS-2015, BioEMIS-2015, BioICT-2015, MECO-Student Challenge, 2015. P. 45-50.

11. Anthropogenic situation express monitoring on the base of the fuzzy neural networks / A.Kolesenkov, B.Kostrov, E.Ruchkina, V.Ruchkin // Proceedings - 2014 3rd Mediterranean Conference on Embedded Computing, MECO 2014 - Including EСyPS, 2014. P. 166-168.

12. Ручкин В.Н., Романчук В.А., Фулин В.А. Проектирование нейропроцессорных систем на основе нечеткой кластеризации// Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2014. № 50-1. С. 87-93.

13. Анализ явного и неявного параллелизма на основе кластеризации вычислительных систем / В.Н.Ручкин, Б.В.Костров, В.А.Романчук, В.А.Фулин // Динамика сложных систем - XXI век. 2015. Т. 9. № 2. С. 20-28.

14. Бабаев С.И., Елесина С.И., Костров Б.В. Сравнение модифицированного поискового и генетического алгоритмов нахождения глобального экстремума в системах навигации// Вопросы радиоэлектроники. 2010. Т. 1. № 1. С. 145-152.

15. Костров Б.В., Саблина В.А. Адаптивная фильтрация изображений со структурными искажениями // Цифровая обработка сигналов. 2008. № 4. С. 49-53.

16. Колесенков А.Н., Костров Б.В., Саблина В.А. Применение вещественно-диадной свертки для идентификации аэрокосмических изображений// В мире научных открытий. 2011. Т. 13. № 1. С. 122-127.

17. Ларкин Е.В., Привалов А.Н. Проектирование программного обеспечения вычислительных средств тренажерных систем. Тула, 2010.

Костров Борис Васильевич, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой, kostrov.b.v@vmt.rsreu.ru, Россия, Рязань, Рязанский государственный радиотехнический университет,

Ручкин Владимир Николаевич, д-р техн. наук, проф., v.ruchkin@rsu.edu.ru, Россия, Рязань, Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина,

Фулин Владимир Андреевич, старший преподаватель, v.fulin@365.rsu.edu.ru, Россия, Рязань, Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина,

Пикулин Дмитрий Романович, асп., v.fulin@365.rsu.edu.ru, Россия, Рязань, Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина

INTERFACE OF THE EXPERT SYSTEM OF DISSOLVING AND ANALYSIS OF NEUROPROCESSOR STRUCTURES

V. N. Ruchkin, B.V. Kostrov, V.A. Fulin, D.R. Pikulin

The interface of the expert system of parallelization and analysis of possible neuroprocessor structures is proposed. A program for implementing the interface in the modern TypeScript language is being developed, which is a superset of the JavaScript language. The NeuralComputerSystemStructure class and the getStructureType method are proposed that identify the type of neural computer network under uncertainty conditions using fuzzy sets through neural networks.

Key words: expert system interface, analysis of neuroprocessor structures, Type-Script, JavaScript, decision making, product model.

Kostrov Boris Vasilevich, doctor of technical science, professor, head of chair, ko-strov.b.v@evm.rsreu.ru, Russia, Ryazan, Ryazan state radio engineering University,

Ruchkin Vladimir Nikolaevich, doctor of technical science, professor, v.ruchkin@rsu.edu.ru, Russia, Ryazan, Ryazan State University,

Fulin Vladimir Andreevich, senior teacher, v.fulin@365.rsu.edu.ru, Ryazan, Ryazan State University,

Pikulin Dmitry Romanovich, postgraduate, v.fulin@365.rsu.edu.ru, Ryazan, Ryazan State University

УДК 004.274

БУФЕРИЗАЦИЯ ДАННЫХ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ РОБОТАМИ

Е.В. Ларкин, А.В. Богомолов, М.А. Антонов

Рассматривается модель буферизации данных в системах управления роботами. Получены зависимости для определения времени между двумя последовательными опросами исходного дискретного сигнала, между двумя последовательными выводами сжатого сигнала в аппаратуру передачи данных и задержки в обработке сигнала между вводом и выводом и между выводом и вводом. Показано, что адекватная модель функционирования буферизированных систем - это сложный Марковский процесс, каждое состояние которого представляет собой 2-параллельный Марковский процесс, который описывает «соревнование» источника сигнала, заполняющего буфер, и приемника сигнала, опорожняющего буфер. Сложный Марковский процесс преобразован в ординарный процесс, состояния которого моделируют количество заполненных в текущий момент ячеек буфера. Анализ ординарного процесса позволил получить зависимость, описывающую связь вероятности отказа, объема буферной памяти и соотношения между математическими ожиданиями времени заполнения и опорожнения буфера.

Ключевые слова: буферизация данных в системах управления роботами, временной интервал, Марковский процесс, буфер, вероятность отказа.

Буферизация данных и программное сжатие в системах управления роботами в настоящее время довольно широко распространено в системах передачи данных [1, 2].

Суть состоит в том, что повышение точности систем, обрабатывающих аналоговые сигналы, при использовании сенсоров требует повышения частоты опроса сенсоров. Поскольку один тракт обработки передачи данных выполняет функцию сбора, преобразования, обработки и пересылки, возникает ряд проблем, к примеру, запаздывание процессора обработки данных, по отношению к прерываниям сенсорных устройств.

Структурно программный модуль буферизации размещается между сенсорным устройством, решающим задачу получения данных и их преобразования в цифровой код, и аппаратурой передачи данных, которая решает задачу трансляции буферизированных данных по узкополосному каналу передачи данных. В силу жестких ограничений на стабильность частоты транзакций по обоим указанным интерфейсам, и особенностей обработки сигналов с помощью контроллеров на базе Фон Неймановской ЭВМ, передаваемые данные подлежат буферизации. Буферизация позволяет организовать, своего рода сдвиговой регистр, с той лишь разницей, что один разряд – это есть n -мерное слово, где n – разрядность слова, генерируемого сенсорным модулем. Таким образом, организуется накопление «слов» данных, полученных от сенсора, которые процессор обработки данных может загружать из буфера и обрабатывать, освобождая буфер, последовательно. Тем самым исключается проблема потери данных, вырабатываемых сенсорным блоком.

Поскольку методики оценки объема буферной памяти в настоящее время используются недостаточно, представленная работа необходима и актуальна.

1. Общая модель функционирования системы передачи данных в цифровых системах управления роботами. Принцип передачи данных по узкополосному каналу связи приведен на рис. 1 [1, 2].

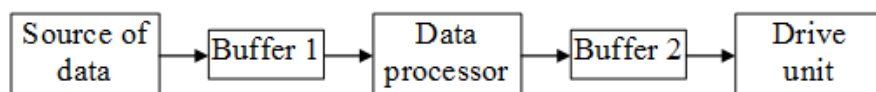


Рис. 1. Функциональная схема обработки данных при передаче по узкополосному каналу

Система функционирует следующим образом. Данные с сенсора преобразуются в последовательность цифровых кодов и поступают на вход первой буферной памяти для дальнейшей передачи их на обработку в ЭВМ Фон Неймановского типа. ЭВМ опрашивает буфер 1 с использованием процедуры полинга, сжимает данные программно и выдает на вход буфера 2, связывающего ЭВМ с аппаратурой передачи данных. Аппаратура передачи данных опрашивает выход буфера 2 и передает данные в канал связи. В приведенной схеме присутствуют три субъекта, функционирующих каждый по своему алгоритму:

источник данных с жесткой синхронизацией, частота которой должна удовлетворять требованиям теоремы Котельникова для исключения потерь информации;

ЭВМ Фон Неймановского типа, генерирующая сигналы транзакций опроса буферов и выполняющая операцию собственно сжатия данных;

аппаратура передачи данных с жесткой синхронизацией, частота которой должна удовлетворять стандарту интерфейса аппаратуры передачи данных с внешними устройствами.

Для оценки времени прохождения сигнала по тракту сжатия данных и объемов буферов 1, 2 должна быть построена модель, учитывающая особенности поступления и вывода данных, и такие свойства алгоритма обработки данных, как цикличность, квази-стохастичность продолжения в местах ветвления и квази-случайность времени выполнения [3, 4]. Подобная модель представляет собой 3-параллельный полумарковский процесс вида

$$\mu = \{^1\mu, ^2\mu, ^3\mu\}; \quad (1)$$

$$^i\mu = \{^iA, ^ih(t)\}, i = 1, 2, 3, \quad (2)$$

где $^1\mu$ - процесс, описывающий ввод данных в буфер 1; $^2\mu$ - процесс, описывающий обработку данных, $^3\mu$ - процесс, описывающий вывод данных из буфера 2; iA - множество состояний; $^ih(t)$ - полумарковская матрица; t - время.

Полумарковские процессы (1) являются эргодическими. В самом общем случае структуры подобных процессов представляют собой полные графы с петлями, приведенные на рис. 2.

Процессы $^1\mu$ и $^3\mu$ имеют вид;

$$^i\mu = \{\{^ia\}, ^ih(t)\}, i = 1, 3, \quad (3)$$

где $\{^ia\}$ - множество, состоящее из единственного состояния генерации транзакций; $^ih(t) = \delta(t - iT)$; $\delta(\dots)$ - δ -функция Дирака; IT - период следования транзакций; $i = 1, 3$ (рис. 2 а, с).

Структура полумарковского процесса $^2\mu$ показана на рис. 2 б. В указанном процессе $^2A = J$; $^2h(t) = [h_{mn}(t)]$ - полумарковская матрица размером $J \times J$; $h_{mn}(t)$ - взвешенные плотности распределения;

$^2A = \{^2a_1, \dots, ^2a_u, \dots, ^2a_U, ^2a_{U+1}, \dots, ^2a_s, \dots, ^2a_S, ^2a_{S+1}, \dots, ^2a_j, \dots, ^2a_J\}$; (4)
 $^2A_u = \{^2a_1, \dots, ^2a_u, \dots, ^2a_U\}$ - подмножество состояний генерации запросов в буфер 1; $^2A_s = \{^2a_{U+1}, \dots, ^2a_s, \dots, ^2a_S\}$ - подмножество состояний генерации запросов в буфер 2; $^2A = \{^2a_{S+1}, \dots, ^2a_j, \dots, ^2a_J\}$ - состояния, моделирующие прочие операторы алгоритма.

В полумарковских процессах $^1\mu$, $^3\mu$ транзакции генерируются при каждом переключении процесса из состояния ia в состояние ia , $i = 1, 3$. В полумарковском процессе $^2\mu$ транзакция генерируется в одном из двух случаев:

1) при прямом переключении процесса из состояний с номерами с 1 по S в состояния с теми же номерами;

2) при переключении процесса из состояний с номерами с 1 по S в состояния с номерами с $S + 1$ по J с последующим блужданием из состояний с номерами с $S + 1$ по J в состояния с номерами с 1 по S .

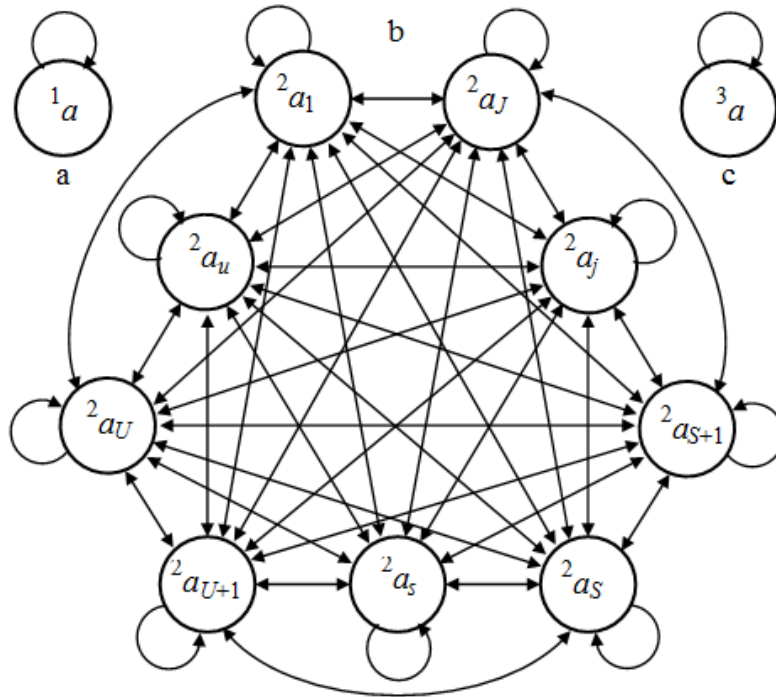


Рис. 2. Структура 3-параллельного полумарковского процесса:
a, c - процессы, описывающие работу источника и приемника данных;
b - процесс, описывающий обработку данных

Методами, приведенными в [5, 6], полумарковский процесс ${}^2\mu$ может быть упрощен до процесса ${}^2\tilde{\mu}$, включающего только состояния генерации транзакций:

$${}^2\mu \rightarrow {}^2\tilde{\mu} = \{ {}^2\tilde{A}, {}^2\tilde{h}\{t\} \}, \quad (5)$$

где ${}^2\tilde{A} = \{ {}^2\tilde{a}_1, \dots, {}^2\tilde{a}_u, \dots, {}^2\tilde{a}_U, {}^2\tilde{a}_{U+1}, \dots, {}^2\tilde{a}_s, \dots, {}^2\tilde{a}_S \}$ - сокращенное множество вершин; ${}^2\tilde{h}(t) = [\tilde{h}_{mn}(t)]$ - полумарковская матрица размером $S \times S$; $1 \leq m, n \leq S$.

Процесс ${}^2\tilde{\mu}$ остается эргодическим. При каждом переключении полумарковского процесса ${}^2\tilde{\mu}$ генерируется одна транзакция, либо в буфер 1, либо в буфер 2. Для внешнего наблюдателя вероятности пребывания в состоянии m в установившемся режиме переключений определяются по зависимостям:

$$\pi_m = \frac{T_m}{\theta_m}, \quad (6)$$

где T_m - математическое ожидание времени пребывания процесса ${}^2\tilde{\mu}$ в состоянии ${}^2\tilde{a}_m \in {}^2\tilde{A}$; θ_m - время возврата в состояние ${}^2\tilde{a}_m \in {}^2\tilde{A}$.

Время T_m определяется по зависимости

$$T_m = \int_0^{\infty} t \cdot \sum_{m=1}^S \tilde{h}_{mn}(t) dt. \quad (7)$$

Для определения θ_m расцепим ${}^2\tilde{a}_m$ на ${}^{2b}\tilde{a}_m$ и ${}^{2e}\tilde{a}_m$. Это осуществляется за счет переноса столбца матрицы ${}^2\tilde{h}(t)$ с номером m в столбец с номером $S+1$. Столбец с номером m и строка с номером $S+1$ заполняются нулями. В результате этого формируется матрица ${}^2\tilde{h}'(t)$, имеющая размер $(S+1) \times (S+1)$, Математическое ожидание времени возврата определяется по следующей зависимости:

$$\theta_m = \int_0^{\infty} t \cdot L^{-1} {}^r\mathbf{I}_{S+1} \cdot \sum_{k=1}^{\infty} \{L[\tilde{h}'(t)]\}^k \cdot {}^c\mathbf{I}_m dt, \quad (8)$$

где ${}^c\mathbf{I}_m$ - вектор-столбец, имеющий размер $S+1$, m -й элемент которого равен единице, а остальные элементы равны нулю; ${}^r\mathbf{I}_m$ - вектор-строка, имеющий размер $S+1$, $(S+1)$ -й элемент которого равен единице, а остальные элементы равны нулю; $L[...]$, $L^{-1}[...]$ - прямое и обратное преобразования Лапласа.

С учетом (6) и свойства эргодичности полумарковского процесса, плотности распределения времени между двумя транзакциями в буфер 1 будет

$$f_{UU}(t) = \frac{\sum_{m=1}^U \pi_m \sum_{n=1}^U \tilde{h}_{mn}(t)}{\sum_{m=1}^U \pi_{m_3} \sum_{n=1}^U \tilde{p}_{mn}}; \quad (9)$$

плотность распределения времени между двумя транзакциями в буфер 2 будет

$$f_{SS}(t) = \frac{\sum_{m=U+1}^S \pi_m \sum_{n=U+1}^S \tilde{h}_{mn}(t)}{\sum_{m=U+1}^S \pi_{m_3} \sum_{n=U+1}^S \tilde{p}_{mn}}; \quad (10)$$

плотность распределения времени между транзакцией в буфер 1 и транзакцией в буфер 2

$$f_{US}(t) = \frac{\sum_{m=1}^U \pi_m \sum_{n=U+1}^S \tilde{h}_{mn}(t)}{\sum_{m=1}^U \pi_{m_3} \sum_{n=U+1}^S \tilde{p}_{mn}}; \quad (11)$$

плотность распределения времени между транзакцией в буфер 2 и транзакцией в буфер 1

$$f_{SU}(t) = \frac{\sum_{m=U+1}^S \pi_m \sum_{n=1}^U \tilde{h}_{mn}(t)}{\sum_{m=U+1}^S \pi_{m_3} \sum_{n=1}^U \tilde{p}_{mn}}. \quad (12)$$

В формулах (9) - (12)

$$\tilde{p}_{mn} = \int_0^{\infty} \tilde{h}_{mn}(t) dt. \quad (13)$$

Вследствие того, что транзакции генерируются в результате блужданий по состояниям полумарковских процессов, транзакции, сгенерированные по каждой отдельной траектории, могут рассматриваться как отдельный поток, а генерация по множеству возможных траекторий может рассматриваться как объединение потоков транзакций. В соответствии с теоремой Б. Григелиониса [7], подобный суммарный поток является пуассоновским. Следовательно, можно ввести ограничение на плотности распределения времени между транзакциями, и считать, что процесс является строго Марковским с непрерывным временем [8], а указанные плотности описываются следующим образом:

$${}^2f_i(t) = \frac{1}{2T_i} \exp\left(-\frac{t}{2T_i}\right), \quad i = 1, 3, \quad (14)$$

где ${}^2f_1(t) = f_{UU}(t)$; ${}^2f_3(t) = f_{SS}(t)$; ${}^2T_i = \int_0^{\infty} t \cdot {}^2f_i(t) dt$ $i = 1, 3$ - математическое

ожидание времени между двумя последовательными транзакциями в соответствующем потоке.

2. «Соревнование» за заполнение/опорожнение буфера. Для оценки объемов буферов сделаем допущение о том, что полумарковские процессы ${}^1\mu$ и ${}^3\mu$ также являются строго Марковскими с непрерывным временем, и потоки транзакций при заполнении буфера 1 и опорожнении буфера 2 являются пуассоновскими, т.е.

$$i h(t) = \frac{1}{i_T} \exp\left(-\frac{t}{i_T}\right), \quad i = 1, 3. \quad (15)$$

Для этого случая может быть разработана математическая модель «соревнования» [9, 10, 11] на заполнение и опорожнение абстрактного буфера, которая представляет собой цепочку 2-параллельных Марковских процессов вида (рис. 3, а):

$$\tilde{n}\mu = \{cB, c\eta(t)\}, \quad (16)$$

где $cB = \{\tilde{n}B_0, \dots, \tilde{n}B_n, \dots, \tilde{n}B_N\}$ - множество состояний; $c\eta(t)$ - марковская матрица.

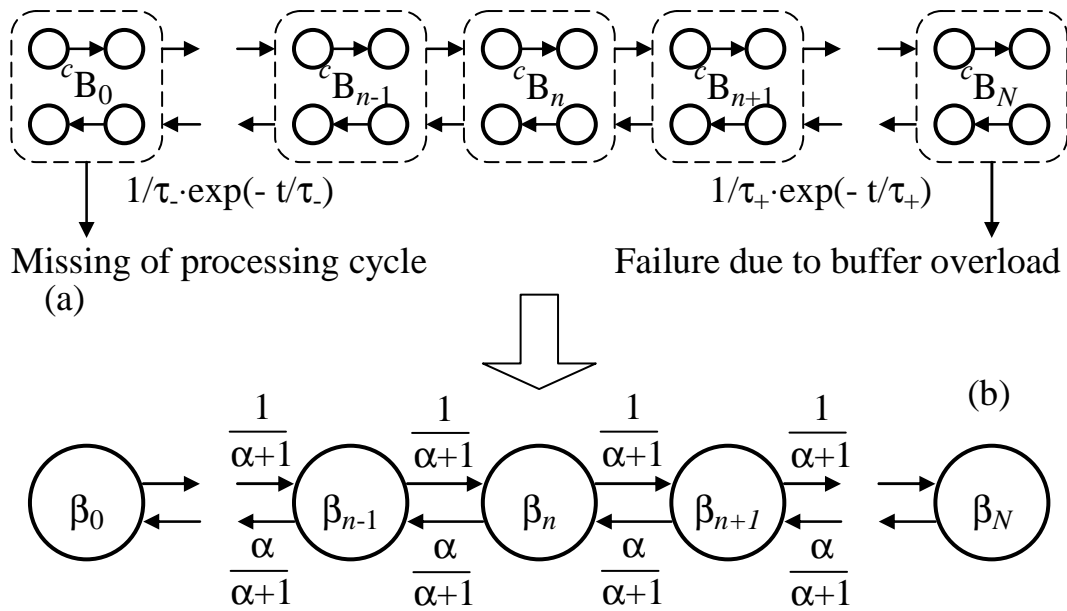


Рис. 3. Марковский процесс, описывающий «соревнование» за заполнение и опорожнение абстрактного буфера (а) и расчетная модель (б)

Каждое состояние цепочки (16) представляет собой 2-параллельный Марковский процесс вида

$$\tilde{n}B_n = \left\{ \left\{ c\beta_{1b}^n, c\beta_{1e}^n, c\beta_{2b}^n, c\beta_{2e}^n \right\}, c\eta_n(t) \right\}, \quad 0 \leq n \leq N, \quad (17)$$

где

$$c\eta_n(t) = \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{\tau_+} \exp\left(-\frac{t}{\tau_+}\right) \\ 0 & 0 \end{bmatrix} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{\tau_-} \exp\left(-\frac{t}{\tau_-}\right) \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \end{bmatrix}, \quad 0 \leq n \leq N. \quad (18)$$

где τ_+ - математическое ожидание времени между двумя транзакциями по заполнению буфера; τ_- - математическое ожидание времени между двумя транзакциями по опорожнению буфера.

В свою очередь, цепочка из 2-параллельных марковских процессов может быть преобразована в ординарный марковский процесс

$$\tilde{\mu} = \{B, \eta(t)\}, \quad (19)$$

где $B = \{\beta_0, \dots, \beta_n, \dots, \beta_N\}$ - множество состояний, каждое из которых определяется количеством занятых в текущий момент ячеек буфера; $\eta(t) = [\eta_{mn}(t)]$ - марковская матрица размером $(N + 1) \times (N + 1)$, у которой

$$\eta_{mn}(t) = \begin{cases} \frac{1}{\tau} \exp\left(-t \frac{\alpha + 1}{\tau}\right), & \text{when } n = m + 1; \\ 0, & \text{when } n \neq m + 1, \text{ or } n \neq m - 1; \\ \frac{\alpha}{\tau} \exp\left(-t \frac{\alpha + 1}{\tau}\right), & \text{when } n = m - 1; \end{cases} \quad (20)$$

$$\alpha = \frac{\tau_+}{\tau_-}. \quad (21)$$

Структура марковского процесса показана на рис. 3, б. Если привязать параметры Марковского процесса (19) к параметрам процессов (1), то

$$\tau_+ = \begin{cases} {}^1T, & \text{when buffer 1,} \\ {}^2T_3, & \text{when buffer 2;} \end{cases} \quad (22)$$

$$\tau_- = \begin{cases} {}^2T_1, & \text{when buffer 1,} \\ {}^3T, & \text{when buffer 2.} \end{cases} \quad (23)$$

3. Оценка потребного объема буфера. Для определения потребного объема абстрактного буфера может быть применена теория массового обслуживания [12], однако воспользуемся зависимостью (6), применив ее к Марковскому процессу $\tilde{\mu}$, и зависимостями, приведенными в [5, 6], для оценки временных интервалов и вероятностей. Вероятности того, что для внешнего наблюдателя в произвольный момент времени процесс (16) будет находиться в состояниях β_n , будут равны

$$q_n = \frac{\alpha^n}{\sum_{i=0}^N \alpha^i}. \quad (24)$$

Сбой работы системы из-за переполненного буфера наступает тогда, когда все ячейки буфера заполнены, т.е.

$$q_{fail} = \frac{\alpha^N}{\sum_{i=0}^N \alpha^i}. \quad (25)$$

Умножив обе части (22) на $\alpha - 1$, будем иметь

$$q_{fail} = \frac{\alpha^N (\alpha - 1)}{\alpha^{N+1} - 1}. \quad (26)$$

Из (23) следует, что

$$N \geq \frac{\ln q_{fail} - \ln[1 - \alpha(1 - q_{fail})]}{\ln \alpha}, \quad (27)$$

где α - соотношение между математическими ожиданиями плотностей распределения времени заполнения и опорожнения абстрактного буфера; q_{fail} - допустимая вероятность сбоя из-за переполнения буфера; N - объем буфера.

В качестве примера рассмотрим случай, когда $0,55 \leq \alpha \leq 0,95$. Графики зависимости $N(\alpha)$ для различных q_{fail} приведены на рис. 4.

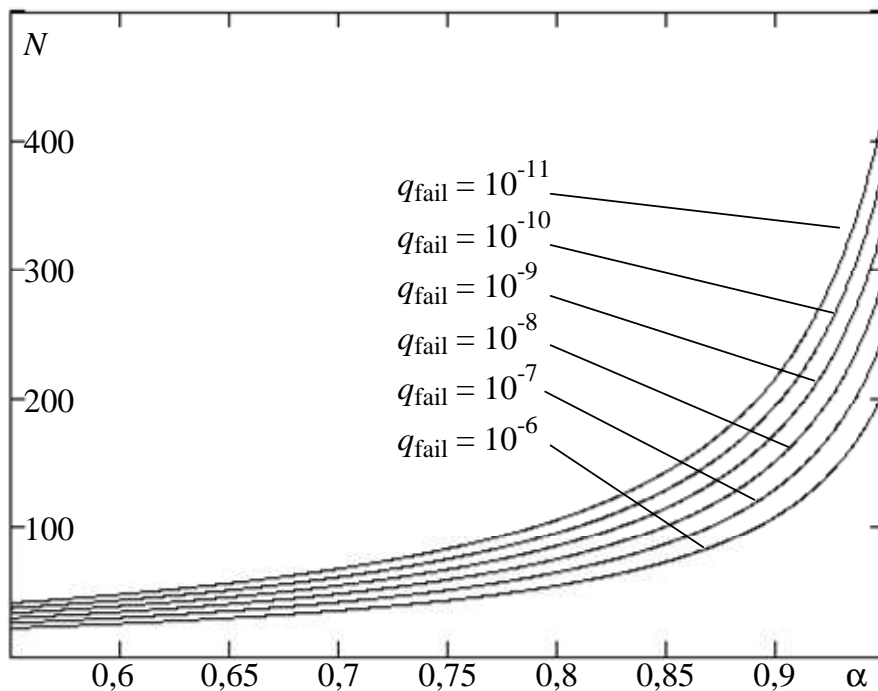


Рис. 4. Зависимость требуемого объема буфера от соотношения периодов поступления и считывания данных и от допустимой вероятности сбоя

Заключение. Таким образом, представлена методика оценки временных интервалов между транзакциями алгоритма сжатия данных. На основании результатов оценки произведены расчёты объема буфера между источником и приемником, обеспечивающего вероятность отказа не ниже заданной при обработке непрерывных потоков данных. Полученная зависимость может быть использована для оптимизации аппаратного и программного обеспечения систем сжатия данных.

Дальнейшим развитием предложенного подхода может являться разработка конкретных рекомендаций по величине объемов буферов для конкретных алгоритмов сжатия данных.

Список литературы

1. Ramírez M.A., Minami M. Technology and standards for low-bit-rate vocoding methods // *The Handbook of Computer Networks*. Ed. H.Bidgoli, New York: Wiley, 2011. Vol. 2. P. 447 – 467.
2. NATO Interoperable Narrow Band Voice Coder. STANAG 4591 C3 (Edition 1) - The 600 bit/s, 1200 bit/s, 2400 bit/s. NSA/1025(2008)-C3/4591.
3. Korolyuk V., Swishchuk A. Semi-Markov random evolutions // *Semi-Markov Random Evolutions*. Springer Science + Business Media, 1995. P. 59–91.
4. Semi-Markov modeling of commands execution by mobile robot / E.V.Larkin, A.N.Ivutin, V.V.Kotov, A.N.Privalov // *Proceedings of first International conference «Interactive collaborated robotics ICR 2016»*. Lecture notes in artificial intelligence. Springer 2016. P. 189 - 198.
5. Larkin E.V., Ivutin A.N. Estimation of Latency in Embedded Real-Time Systems // *3-rd Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO-2014)*. 2014 June 15-19. Budva: Montenegro, 2014. P. 236 - 239.
6. Larkin E.V., Ivutin A.N., Esikov D.O. Recursive procedure of evaluation of time intervals between transactions // *MATEC Web of conferences: Australia, Melbourne, 2016*.
7. Grigelionis B. On the convergence of sums of random step processes to a Poisson process. *Theory Probab. Appl.* 1963. P. 177 - 182.
8. Markov A.A. Extension of the law of large numbers to dependent quantities, *Izvestiia Fiz.-Matem. Obsch. Kazan Univ.*, (2-nd Ser.), 1906. P. 135 - 156.
9. Cleaveland R., Smolka S.A. Strategic directions in concurrency research // *CSUR*. 1996. Dec. Vol. 28. N. 4. P. 607 - 625.
10. Ivutin A.N., Larkin E.V. Simulation of Concurrent Games // *Bulletin of the South Ural State University. Series: Mathematical Modelling, Programming and Computer Software*. Chelyabinsk. 2015. Vol. 8. № 2. P. 43 - 54.
11. Simulation of Relay-races/ E.V.Larkin, A.N.Ivutin, V.V.Kotov, A.N.Privalov // *Bulletin of the South Ural State University. Mathematical Modelling, Programming & Computer Software*. 2016. Vol. 9. No 4. P. 117 - 128.
12. Sundarapandian V. *Queueing Theory: Probability, Statistics and Queueing Theory*. PHI Learning. New Delhi. 2009.

Ларкин Евгений Васильевич, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой, elarkin@mail.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет,

Богомолов Алексей Валерьевич, д-р техн. наук, проф., elarkin@mail.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет,

Антонов Максим Александрович, магистрант, elarkin@mail.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет

**DATA BUFFERING
IN THE CONTROL SYSTEMS OF ROBOTS**

E.V. Larkin, A.V. Bogomolov, M.A. Antonov

In frames of this article, a data buffering model in robot control systems has been developed. Dependences are obtained for determining the time between two consecutive interrogations of the original discrete signal, between two successive outputs of the compressed signal to the data transmission and delay equipment in processing the signal between the input and the output and between the output and the input. It is shown that an adequate model of the functioning of buffered systems is a complex Markov process, each state of which is a 2-parallel Markov process that describes the "competition" of the source of the signal that fills the buffer and the signal receiver emptying the buffer. The complex Markov process is transformed into an ordinary process, the states of which simulate the number of currently filled buffer cells. The analysis of the orthodynamic process made it possible to obtain a relationship describing the relationship between the probability of failure, the amount of buffer memory, and the relationship between the mathematical expectation of the time for filling and emptying the buffer.

Key words: data buffering in robot control systems, time interval, Markov process, buffer, probability of failure.

Larkin Evgeniy Vasilievich, doctor of technical sciences, professor, head of chair, elarkin@mail.ru, Russia, Tula, Tula State University,

Bogomolov Alexey Valerievich, doctor of technical sciences, professor, elarkin@mail.ru, Russia, Tula, Tula State University,

Antonov Maxim Aleksandrovich, master, elarkin@mail.ru, Russia, Tula, Tula State University

ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ В РАЗНЕСЕННЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ НА ОСНОВЕ АДАПТИВНЫХ АЛГОРИТМОВ

Ю.И. Мамон, И.Ю. Мацур, Д.В. Шевченко

Приводятся результаты разработки линеаризованного адаптивного алгоритма оценивания координат и параметров движущихся целей с использованием единичных замеров азимутов в двух позициях. Решена задача минимизации ошибок при ограничении на коэффициент, характеризующий степень фильтрации флуктуационных ошибок измерения координат.

Ключевые слова: оценка координат, калмановская фильтрация, адаптивный алгоритм.

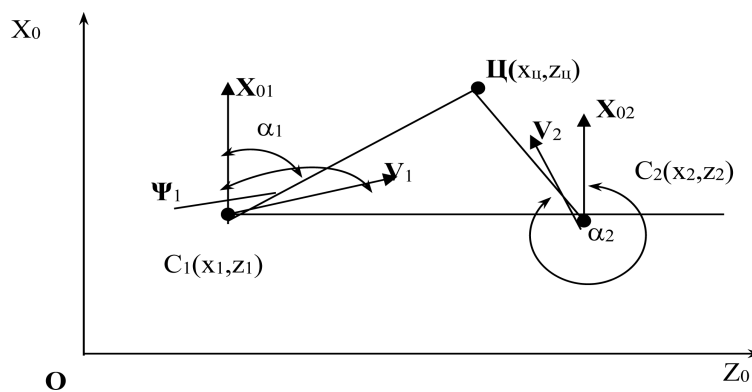
Одной из основных задач наблюдения в угломерных разнесенных радиолокационных системах (РРЛС) является построение траекторий лоцируемых целей, излучающих радиосигналы. Решение указанной задачи обеспечивается соответствующими алгоритмами оценивания координат и параметров движения цели, рассмотренными в [1] применительно к ситуации, когда результаты измерений на подвижных позициях поступают на обработку одновременно. Однако на практике такая ситуация является достаточно редкой. Объясняется это тем, что, во-первых, измерения на приемных позициях могут осуществляться в разные моменты времени, и, во-вторых, обмен результатами измерений происходит с запаздыванием из-за специфики функционирования современных систем передачи информации.

Зависимость точности определения местоположения цели от геометрии взаимного положения измерительных позиций и цели приводит и к зависимости от нее точности фильтрации. В то же время для обеспечения высокой точности управления позициями желательно иметь стационарные ошибки оценивания фазовых координат, используемых в алгоритмах траекторного управления. В связи с этим целесообразно использовать адаптивные алгоритмы оценивания [2]. Следует подчеркнуть, что при больших интервалах времени поступления измерений использование калмановских алгоритмов фильтрации становится проблематичным, поскольку в такой ситуации они формируют расходящиеся оценки. Более рациональным является использование более простых адаптивных алгоритмов на базе α , β - фильтров.

Ниже приводятся результаты разработки линеаризованного адаптивного алгоритма оценивания координат и параметров движущихся целей с использованием единичных замеров азимутов в двух позициях. Обобщение данного алгоритма на большее число позиций не представляет каких-либо трудностей. Как и выше, ограничимся случаем, когда первичные из-

мерения производятся в приемных позициях в один и тот же момент времени, а запаздывание в обработке данных обусловлено задержками в системе обмена данными между приемными позициями.

Рассмотрим алгоритм фильтрации в предположении, что траектория движения цели (фильтруемый процесс) представляется линейной функцией времени в прямоугольных координатах, а измеренными координатами являются азимуты цели, фиксируемые в m_k точках пространства, и прямоугольные координаты m_k приемных позиций. Для простоты ограничимся случаем измерения (первичного оценивания) проекций пространственного положения цели Ц в горизонтальной плоскости, как это показано на рисунке.



Геометрия решения задачи определения местоположения цели в прямоугольной системе координат

Декартовы прямоугольные координаты цели на плоскости рассматриваются как компоненты вектора состояния $x_{Ц} = [x_{Ц}, y_{Ц}]^T$. Надстрочный индекс «T» означает операцию транспонирования вектора или матрицы. На рисунке для простоты показаны две приемные позиции C_1 и C_2 . Вектор первичных наблюдаемых параметров $[\alpha_1, \alpha_2, x_1, y_1, x_2, y_2]^T$ при наличии двух приемных позиций включает азимуты цели α_1, α_2 в точках пеленгации C_1 и C_2 и прямоугольные координаты x_1, y_1 и x_2, y_2 приемных позиций. Заметим, что углы отсчитываются относительно оси OZ некоторой прямоугольной системы координат XOZ .

Прямоугольные координаты цели связаны с азимутами цели α_1, α_2 и прямоугольными координатами позиций пеленгации следующими соотношениями [2, 3]:

$$z_{Ц} = \frac{\rho_1 \cos \alpha_2 - \rho_2 \cos \alpha_1}{\sin(\alpha_1 - \alpha_2)}, \quad (1)$$

$$x_{Ц} = \frac{\rho_1 \sin \alpha_2 - \rho_2 \sin \alpha_1}{\sin(\alpha_1 - \alpha_2)}, \quad (2)$$

где $\rho_1 = z_1 \sin \alpha_1 - x_1 \cos \alpha_1$, $\rho_2 = z_2 \sin \alpha_2 - x_2 \cos \alpha_2$ – расстояния от начала прямоугольной системы координат до прямых, проходящих через точки $C_1(z_1, x_1)$ и $C_2(z_2, x_2)$ в направлениях, определяемых линиями визирования $C_1Ц$ и $C_2Ц$ соответственно.

Анализ соотношений (1), (2), по которым рассчитываются прямоугольные координаты $x_{ц}$ и $z_{ц}$ источника радиоизлучений (ИРИ) [2], показывает, что эти координаты являются нелинейными функциями измеряемых углов. Ошибки измерителей приводят к погрешностям Δl_x и Δl_z формирования (расчета) оценок координат $x_{ц}$ и $z_{ц}$ цели. В силу случайного характера изменения ошибок Δl_x и Δl_z их характеризуют математически ожиданиями $m_{\Delta x}$ и $m_{\Delta z}$ и дисперсиями D_x и D_z или среднеквадратическими ошибками $\sigma_x = \sqrt{D_x}$ и $\sigma_z = \sqrt{D_z}$, методика расчета которых изложена в [3, 4].

Предлагаемый алгоритм оценивания параметров траектории ИРИ основан на линеаризации функций (1) и (2), допустимой при сравнительно малых среднеквадратических ошибках оценивания азимутальных углов. Рассмотрим методику линеаризации на примере нелинейной функции (1) для прямоугольной координаты $x_{ц}$, определяющей зависимость сформированной оценки $\hat{x}_{ц}$ прямоугольной координаты $x_{ц}$ от оцененных значений $\hat{\alpha}_1$, $\hat{\alpha}_2$. Сущность метода линеаризации состоит в представлении нелинейной функции

$$\hat{x}_{ц} = h_x(\hat{\alpha}_1, \hat{\alpha}_2, x_1, x_2), \quad (3)$$

записанной в (3) в обобщенном виде, степенным рядом относительно истинных значений α_1 , α_2 с оставлением в них только линейных членов, содержащих ошибки $\Delta \alpha_1 = \alpha_1 - \hat{\alpha}_1$, $\Delta \alpha_2 = \alpha_2 - \hat{\alpha}_2$.

В результате линеаризации функция (3) принимает следующий вид:

$$\hat{x}_{ц} = h_x(\alpha_1, \alpha_2, x_1, x_2) + k_{x\alpha_1} \Delta \alpha_1 + k_{x\alpha_2} \Delta \alpha_2.$$

Здесь коэффициенты чувствительности $k_{x\alpha_1} = \frac{\partial h_x(\hat{\alpha}_1, \hat{\alpha}_2, x_1, x_2)}{\partial \hat{\alpha}_1}$,

$$k_{x\alpha_2} = \frac{\partial h_x(\hat{\alpha}_1, \hat{\alpha}_2, x_1, x_2)}{\partial \hat{\alpha}_2} \text{ вычисляются при } \hat{\alpha}_1 = \alpha_1, \hat{\alpha}_2 = \alpha_2.$$

Аналогичная методика линеаризации используется и для координаты $z_{ц}$.

Применительно к рассматриваемому случаю коэффициенты чувствительности для функций (1) и (2) определяются соотношениями:

$$\frac{dz_{ц}}{d\alpha_1} = \frac{\sin(\alpha_1 - \alpha_2)(\rho_3 \cos \alpha_2 + \rho_2 \sin \alpha_1) - \cos(\alpha_1 - \alpha_2)(\rho_1 \cos \alpha_2 + \rho_2 \cos \alpha_1)}{\sin^2(\alpha_1 - \alpha_2)},$$

$$\frac{dz_{ц}}{d\alpha_2} = \frac{-\sin(\alpha_1 - \alpha_2)(\rho_1 \sin \alpha_2 + \rho_4 \cos \alpha_1) - \cos(\alpha_1 - \alpha_2)(\rho_1 \cos \alpha_2 + \rho_2 \cos \alpha_1)}{\sin^2(\alpha_1 - \alpha_2)},$$

$$\frac{dx_{\Pi}}{d\alpha_1} = \frac{\sin(\alpha_1 - \alpha_2)(\rho_3 \sin \alpha_2 - \rho_2 \cos \alpha_1) - \cos(\alpha_1 - \alpha_2)(\rho_1 \sin \alpha_2 + \rho_2 \sin \alpha_1)}{\sin^2(\alpha_1 - \alpha_2)}; ,$$

$$\frac{dx_{\Pi}}{d\alpha_2} = \frac{\sin(\alpha_1 - \alpha_2)(\rho_1 \cos \alpha_2 - \rho_4 \sin \alpha_1) - \cos(\alpha_1 - \alpha_2)(\rho_1 \sin \alpha_2 + \rho_2 \sin \alpha_1)}{\sin^2(\alpha_1 - \alpha_2)},$$

где $\rho_3 = z_1 \cos \alpha_1 + x_1 \sin \alpha_1$, $\rho_4 = z_2 \cos \alpha_2 + x_2 \sin \alpha_2$.

Введем следующие обозначения:

$$k_{z\alpha 1} = \frac{dz_{\Pi}}{d\alpha_1}, \quad k_{z\alpha 2} = \frac{dz_{\Pi}}{d\alpha_2}, \quad k_{x\alpha 1} = \frac{dx_{\Pi}}{d\alpha_1}, \quad k_{x\alpha 2} = \frac{dx_{\Pi}}{d\alpha_2}.$$

При построении алгоритмов оценивания фазовых координат цели в прямоугольной системе координат вместо неизвестных истинных значений углов пеленга подставим их измеренные значения. Это означает, что вместо ошибок $\Delta\alpha_1 = \alpha_1 - \hat{\alpha}_1$, $\Delta\alpha_2 = \alpha_2 - \hat{\alpha}_2$ в качестве угловых невязок в фильтре берутся $\Delta\alpha_1 = \alpha_{1u}(k) - \hat{\alpha}_1(k, k-1)$, $\Delta\alpha_2 = \alpha_{2u}(k) - \hat{\alpha}_2(k, k-1)$, т.е. разности измеренных и экстраполированных значений углов азимута соответственно для первой и второй приемных позиций.

Отметим, что измеряемая в каждой i -й точке пеленгации угловая координата – азимут $\alpha_{iu}(k)$ содержит дискретный шум наблюдения, который будем считать дискретным гауссовским белым шумом с нулевым математическим ожиданием и известной корреляционной функцией ошибок измерения $D_{i\alpha\xi}(k)$. Далее эти невязки, предварительно умноженные на коэффициенты чувствительности, можно использовать в алгоритмах фильтрации фазовых координат цели в прямоугольной системе координат. Умножение невязок на коэффициенты чувствительности обеспечивает пересчет невязок из полярной системы в прямоугольную систему координат.

Экстраполированные значения углов азимута и дальности до цели рассчитываются по формулам [4, 5]:

$$\hat{\alpha}_i(k, k-1) = \begin{cases} A_i = \arctg |\hat{z}_{\Pi ci}(k, k-1) / \hat{x}_{\Pi ci}(k, k-1)|, \\ \pi - A_i, \\ \pi + A_i, \\ 2\pi - A_i; \end{cases}$$

$$\hat{z}_{\Pi ci}(k, k-1) > 0; \hat{z}_{\Pi ci}(k, k-1) > 0; \hat{z}_{\Pi ci}(k, k-1) < 0; \hat{z}_{\Pi ci}(k, k-1) < 0;$$

$$\hat{x}_{\Pi ci}(k, k-1) > 0; \hat{x}_{\Pi ci}(k, k-1) < 0; \hat{x}_{\Pi ci}(k, k-1) < 0; \hat{x}_{\Pi ci}(k, k-1) > 0;$$

$$\hat{R}_i(k-1) = \sqrt{\hat{x}_{\Pi ci}^2(k, k-1) + \hat{z}_{\Pi ci}^2(k, k-1)},$$

где $\hat{x}_{\Pi ci} = \hat{x}_{\Pi}(k, k-1) - x_{ci}(k)$, $\hat{z}_{\Pi ci} = \hat{z}_{\Pi}(k, k-1) - z_{ci}(k)$ – разности оценок положений цели и i -го пеленгатора по соответствующим осям прямоугольной системы координат.

Как отмечалось, алгоритмы оценивания координат цели и их производных по осям OX и OZ образуют два независимых канала фильтрации, аналогичных по своей структуре. Ниже в качестве фильтруемых параметров используются прямоугольные координаты $x_{ц}(k)$, $z_{ц}(k)$ и их производные $\dot{x}_{ц}(k)$, $\dot{z}_{ц}(k)$. Предполагается, что измерения выполняются в моменты времени t_k для первой приемной позиции и $t_k + \tau_2(k)$ – для второй приемной позиции. Для оценивания возьмем фильтры, аналогичные по своей структуре α, β – фильтрам. Формульная схема алгоритма фильтра для вычисления оценок параметров линейной траектории на k -м шаге по результатам последовательной фильтрации по данным от первой и второй приемных позиций соответственно имеет вид (для координаты $x_{ц}$):

$$\begin{aligned} \hat{x}_{ц}(k,1) &= \hat{x}_{ц}(k,k-1) + \alpha_{x1}(k)k_{x\alpha1}(\alpha_{1u}(k) - \hat{\alpha}_1(k,k-1)); \\ \hat{\dot{x}}_{ц}(k,1) &= \hat{\dot{x}}_{ц}(k-1) + \frac{\beta_{x1}k_{x\alpha1}}{T}(\alpha_{1u}(k) - \hat{\alpha}_1(k,k-1)); \\ \hat{x}(k) &= \hat{x}_{ц}(k,1) + \alpha_{x2}(k)k_{x\alpha2}(\alpha_{2u}(k) - \hat{\alpha}_2(k,k-1)); \\ \hat{\dot{x}}_{ц}(k) &= \hat{\dot{x}}_{ц}(k,1) + \frac{\beta_{x2}k_{x\alpha2}}{T}(\alpha_{2u}(k) - \hat{\alpha}_2(k,k-1)); \\ \hat{x}_{ц}(k,k-1) &= \hat{x}_{ц}(k-1) + T\hat{\dot{x}}_{ц}(k-1), \end{aligned} \quad (4)$$

где $\alpha_{iu}(k)$ – результат измерения координаты $\alpha_i(k)$ на k -м шаге обновления информации в i -й приемной позиции; $i = 1, 2$ – номер позиции пеленгации, T – период обновления данных.

Первые два уравнения (4) реализуются в момент времени t_k , а третье и четвертое уравнения – в момент времени $t_k + \tau_2(k)$.

Аналогичные уравнения можно записать и для координаты $z_{ц}$:

$$\begin{aligned} \hat{z}_{ц}(k,1) &= \hat{z}_{ц}(k,k-1) + \alpha_{z1}(k)k_{z\alpha1}(\alpha_{1u}(k) - \hat{\alpha}_1(k,k-1)); \\ \hat{\dot{z}}_{ц}(k,1) &= \hat{\dot{z}}_{ц}(k-1) + \frac{\beta_{z1}k_{z\alpha1}}{T}(\alpha_{1u}(k) - \hat{\alpha}_1(k,k-1)); \\ \hat{z}_{ц}(k) &= \hat{z}_{ц}(k,1) + \alpha_{z2}(k)k_{z\alpha2}(\alpha_{2u}(k) - \hat{\alpha}_2(k,k-1)); \\ \hat{\dot{z}}_{ц}(k) &= \hat{\dot{z}}_{ц}(k,1) + \frac{\beta_{z2}k_{z\alpha2}}{T}(\alpha_{2u}(k) - \hat{\alpha}_2(k,k-1)); \\ \hat{z}_{ц}(k,k-1) &= \hat{z}_{ц}(k-1) + T\hat{\dot{z}}_{ц}(k-1). \end{aligned}$$

Отметим, что при построении фильтров для обеспечения хорошего сглаживания ошибок измерения при выборе коэффициентов α_{x1} , α_{x2} , β_{x1} , β_{x2} и α_{z1} , α_{z2} , β_{z1} , β_{z2} , определяющих вес корректирующих поправок, необходимо учитывать «геометрию» расположения цели и подвижных позиций. Объясняется это тем, что дисперсии ошибок D_x и D_z оценивания

координат, как показано в [4], зависят от взаимного положения цели и пеленгаторов, размещенных на приемных позициях. Чтобы устранить эту зависимость, необходимо управлять параметрами фильтра, реализующего разработанный алгоритм.

Пусть в (4) $\alpha_{x\alpha 1} = \alpha_{x\alpha 2} = \alpha_x$, $\beta_{x\alpha 1} = \beta_{x\alpha 2} = \beta_x$. В этом случае подбором коэффициентов α_x и β_x можно обеспечить заданное качество оценивания прямоугольных координат цели и их производных. Как показано в [6], для случая линейной траектории выбор параметров α_x , β_x – фильтра целесообразно осуществлять по минимуму суммарной квадратичной динамической ошибки оценивания положения (скорости) при переходном процессе и при ограничении на заданное значение дисперсии флуктуационной ошибки оценивания координаты (скорости).

В частности, можно решить задачу минимизации ошибок при ограничении на коэффициент

$$k_x = \frac{D_{\hat{x}_T}}{D_{x_{\Pi}}}, \quad (5)$$

характеризующий степень фильтрации флуктуационных ошибок измерения координаты x_{Π} , где $D_{\hat{x}_T}(k)$ – требуемое значение дисперсии случайных ошибок фильтрации координаты x_{Π} в установившемся режиме работы; $D_{x_{\Pi}}(k)$ – дисперсия ошибок измерения координаты x_{Π} , зависящая от «геометрии» взаимного расположения цели и подвижных позиций.

В этом случае для параметров α_x , β_x – фильтра в [6] получены соотношения:

$$5\alpha_x^2 - (6 + 8k_x)\alpha_x + 8k_x = 0;$$

$$\beta_x = \alpha_x^2 / (2 - \alpha_x),$$

в которых k_x вычисляется по формуле (5) на основе выбираемого требуемого значения дисперсии $D_{\hat{x}_T}(k)$ ошибок оценивания координаты и известного значения дисперсии $D_{x_{\Pi}}(k)$ ошибок измерения координаты x_{Π} .

Аналогичным образом определяются значения параметров α_z , β_z – фильтра для координаты z_{Π} . Необходимые формулы для дисперсий ошибок измерений координат приведены в [7].

Таким образом, выбор коэффициентов α_x , β_x и α_z , β_z , определяющих вес корректирующих поправок, с учетом «геометрии» расположения цели и подвижных приемных позиций делает алгоритмы α , β – фильтрации адаптивными.

В приведенных выше формулах, определяющих функционирование линеаризованного адаптивного алгоритма оценивания параметров линейной траектории на базе α , β – фильтра, используются коэффициенты чувствительности. Наиболее просто они находятся при условии, что первичные измерения в приемных позициях осуществляются одновременно, при

этом неодновременность поступления результатов измерения в пункт обработки обусловлена запаздыванием в системе передачи информации. При неодновременности в проведении первичных измерений возникают трудности в расчете коэффициентов чувствительности, так как последние зависят от азимутов цели и прямоугольных координат обеих приемных позиций.

Возможны два варианта получения оценки коэффициентов чувствительности. При первом варианте приходящие от одной из приемной позиции первичные измерения объединяются с экстраполированными на текущий момент времени t_k данными от другой приемной позиции. При втором варианте считается, что коэффициенты чувствительности изменяются очень медленно. Поэтому для их расчета используются текущие первичные измерения от одной из приемных позиций и первичные измерения от другой приемной позиции, полученные на предыдущем цикле $k-1$ оценивания параметров траектории цели.

Следует отметить, что при неодновременности первичных измерений в приемных позициях алгоритмы фильтрации усложняются не только из-за требования выполнения расчета коэффициентов чувствительности для каждого момента коррекции оценок вектора состояния. Необходимо также иметь наряду с первичными измерениями от одной из приемных позиций прогнозируемые значения азимута цели и собственных прямоугольных координат от другой позиции. Методика решения последней задачи аналогична той, что применена выше при разработке алгоритмов фильтрации для случая двухэтапной процедуры измерения прямоугольных координат цели.

Список литературы

1. Авиация ПВО России и научно-технический прогресс. Боевые комплексы и системы вчера, сегодня, завтра / В.К.Бабич, М.Е.Баханов, Г.П.Герасимов [и др.]; под ред. Федосова Е.А. М.: ДРОФА, 2001.
2. Фарица А., Студер Ф. Цифровая обработка радиолокационной информации. Сопровождение целей. М.: Радио и связь, 1993.
3. Канащенко А.И., Меркулов В.И., Самарин О.Ф. Облик перспективных бортовых радиолокационных систем. Возможности и ограничения. М.: ИПРЖР, 2002.
4. Авиационные системы радиопреуправления. Т.1. Принципы построения систем радиопреуправления. Основы синтеза и анализа / В.И.Меркулов, В.В.Дрогалин, А.И.Канащенко [и др.]; под ред. А.И. Канащенко и В.И. Меркулова. М.: Радиотехника, 2003.
5. Авиация ПВО России и научно-технический прогресс. Боевые комплексы и системы вчера, сегодня, завтра / В.К.Бабич, М.Е.Баханов, Г.П.Герасимов [и др.]; под ред. Федосова Е.А. М.: ДРОФА, 2001.

6. Способы и алгоритмы помехозащиты бортовых радиолокационных систем от многоточечных нестационарных помех / В.В.Дрогалин, В.Д.Казаков, А.И.Канащенков [и др.] // Зарубежная радиоэлектроника. Успехи современной радиоэлектроники. № 2. 2001.

7. Перов А.И. Статистическая теория радиотехнических систем. М.: Радиотехника, 2003.

Мамон Юрий Иванович, д-р техн. наук, доц., главный специалист, cdbae@cdbae.ru, Россия, Тула, АО Центральное конструкторское бюро аппарато-строения,

Мацур Игорь Юрьевич, преподаватель, info@tsu.tula.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет,

Шевченко Дмитрий Витальевич, адъюнкт, niriopaii@mail.ru, Россия, Пенза, Пензенский артиллерийский инженерный институт

SIGNAL PROCESSING IN AN EXPLODED RADAR SYSTEMS BASED ON ADAPTIVE ALGORITHMS

Y.I. Mamon, I.Y. Mazur, D.V. Shevchenko

The results of the development of a linear adaptive algorithm for estimating the coordinates and parameters of moving targets using single measurements of azimuths in two positions. Solved the problem of minimizing the error under constraints on the coefficient characterizing the degree of filtering of the fluctuation of the measurement errors of the coordinates.

Key words: evaluation of the coordinates, Kalman filtering, adaptive algorithm.

Mamon Yuri Ivanovich, doctor of technical sciences, docent, chief specialist, cdbae@cdbae.ru, Russia, Tula, JSC CDBAE,

Mazur Igor Yurievich, lecturer, info@tsu.tula.ru, Russia, Tula, Tula State University,

Shevchenko Dmitri Vitalevich, adjunct, niriopaii@mail.ru, Russia, Penza, Penza artillery Engineering Institute

КОМПЛЕКСНЫЙ МЕТОД ОРГАНИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОЙ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМОЙ НА ОСНОВЕ МНОГОАГЕНТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Э.В. Мельник, А.Б. Клименко

Рассматриваются вопросы повышения надежности информационно-управляющих систем мехатронных объектов с высокой критичностью отказа. Предложен метод организации управления информационно-управляющей системой на основе многоагентного взаимодействия, ориентированный на специфику информационно-управляющих систем с резервированием производительности и децентрализованным управлением. Представлена модель предлагаемого метода, модель задачи формирования конфигураций системы, децентрализованные алгоритмы реконфигурации, а также избранные результаты моделирования.

Ключевые слова: информационно-управляющая система, отказоустойчивость, надежность, резервирование производительности, многоагентный подход, децентрализованное управление.

Современные информационно-управляющие системы (ИУС) находят практически повсеместное применение во многих областях человеческой деятельности, включая сложные мехатронные комплексы вредных производств, авиационную промышленность и объекты авиации, автономные робототехнические объекты и др. [1]

Подавляющее число объектов, находящихся под управлением ИУС, критичны к возникновению отказов, поскольку стоимость последствий отказа может быть высока как в денежном эквиваленте, так и с точки зрения безопасности людей и окружающей среды. Например, отказ искусственного спутника без возможности восстановления приведет к затратам на создание и вывод на орбиту нового спутника, в то время как отказ оборудования на атомной электростанции чреват серьезными последствиями как для окружающей среды, так и для населения близлежащих населенных пунктов.

По указанным причинам для объектов, критичных к возникновению отказа, особенно актуальной становится проблема обеспечения их надежности (dependability)[2].

Понятие надежности трактуется как свойство объекта сохранять во времени способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения [2], включая при этом:

- готовность (availability);
- безотказность(reliability);

- безопасность(safety);
- целостность (integrity);
- ремонтпригодность (maintainability).

С другой стороны, для инженерных систем и робототехнических комплексов в частности, надежность опирается на свойства надежности компонентов системы: в соответствии с проводимыми исследованиями, ИУС мехатронного объекта обладает следующими важными характеристиками[3,4]:

- отказ ИУС мехатронного объекта является критическим, после чего объект перестает функционировать;
- анализ статистики позволил сделать выводы о том, что успех миссии мехатронного объекта зависит от надежности ИУС до 50%.

Поскольку надежность объекта находится в непосредственной зависимости от надежности ИУС, вопросы построения высоконадежных ИУС несомненно актуальны.

В статье рассматривается класс ИУС с резервированием производительности и децентрализованным управлением [5]. Резервирование производительности позволяет не только уменьшить массо-габаритные показатели объекта по сравнению со структурным резервированием, но и повысить характеристику надежности (reliability) системы [6,7]. Децентрализованные принципы управления, в свою очередь, повышают показатели отказоустойчивости системы, позволяя путем реконфигурации реализовать восстановление после отказа.

Следует отметить важность в контексте данной работы термина «конфигурация»: далее под конфигурацией ИУС будем понимать распределение задач мониторинга и управления ИУС по вычислительным узлам (ВУ) системы. Проблема поиска оптимальных с той ли иной точки зрения конфигураций относится к задачам комбинаторной оптимизации. Формирование конфигураций представляет собой отдельную комплексную задачу, поскольку пространство поиска сложное, со многими ограничениями, возможно, невыпуклое, а сама оптимизация конфигураций проводится по нескольким критериям [7, 8]. Таким образом, использование резервирования производительности ВУ, повышая надежность системы, приводит к усложнению реализации процедуры реконфигурации и, как следствие, к необходимости синтеза новых методов и алгоритмов реконфигурации в децентрализованной среде.

Изложенные в данной статье результаты исследования являются продолжением и расширением работ [9-11].

В последующих разделах статьи будет изложено следующее:

- модель комплексного метода организации управления отказоустойчивой информационно-управляющей системой на основе много-агентного взаимодействия;

- основные принципы реконфигурации для ИУС с резервированием производительности и децентрализованным управлением;
- модель задачи формирования конфигураций;
- децентрализованные алгоритмы, реализующие процедуру реконфигурации.

В заключении приведено обобщение результатов исследования и обрисовано направление дальнейшей работы в области повышения надежности ИУС.

1. Модель комплексного метода организации управления отказоустойчивой информационно-управляющей системой на основе многоагентного взаимодействия.

Как было сказано выше, надежность ИУС является многоаспектной проблемой. На рис. 1 приведена схематичная взаимосвязь основных понятий, связанных с надежностью в контексте данной статьи.

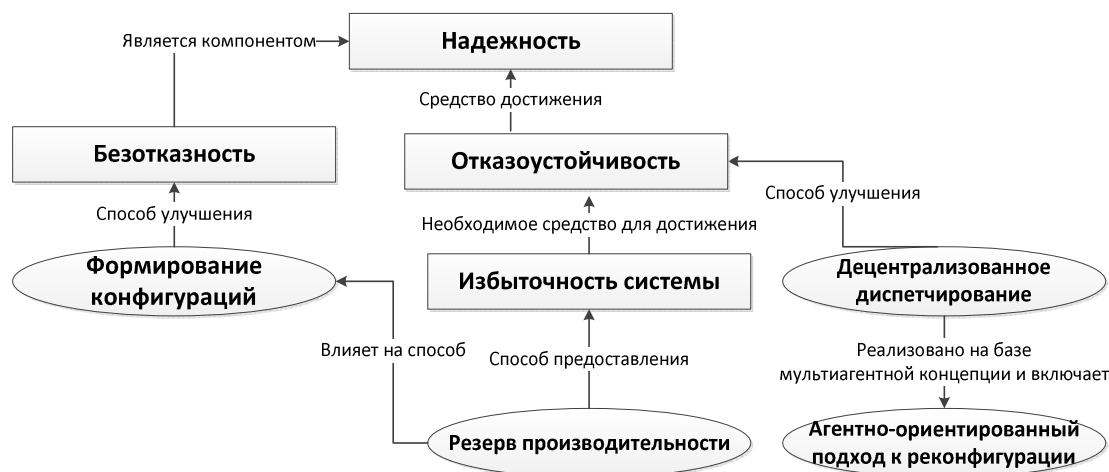


Рис. 1. Схема представления связей между понятиями, относящимися к надежности ИУС

На схеме рис.1. показано, что способ резервирования производительности, влияя на процедуру формирования конфигураций, опосредованно влияет и на надежность системы путем изменения количественных показателей безотказности (reliability). В то же время децентрализованное диспетчирование ИУС, опираясь на агентно-ориентированный подход, улучшает характеристики отказоустойчивости, которая является одним из средств повышения надежности систем.

Предлагаемый метод организации управления отказоустойчивой информационно-управляющей системой на основе многоагентного взаимодействия опирается на схему рис.1 и представлен на рис.2.

На схеме рис.2 показано, что в основе предлагаемого метода находится децентрализованное многоагентное управление, которое включает в качестве основополагающих элементов децентрализованное координирование агентов и совместное формирование конфигураций.

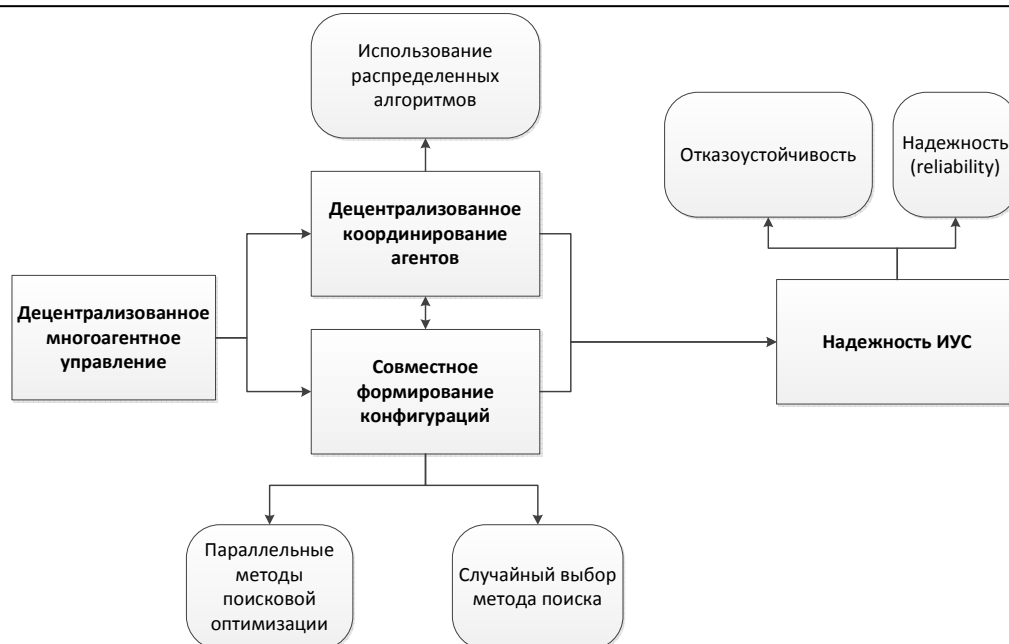


Рис.2. Метод организации управления отказоустойчивой информационно-управляющей системой на основе многоагентного взаимодействия

Децентрализованное координирование агентов опирается на использование децентрализованных алгоритмов[12]. Совместное формирование конфигураций системы позволяет при необходимости получать конфигурации в процессе реконфигурации, используя при этом параллельные методы поисковой оптимизации, а также случайный выбор метода поиска для различных агентов. Здесь следует отметить, что использование параллельных реализаций методов поисковой оптимизации позволяет использовать относительно простые алгоритмы, например, имитацию отжига, которые считаются медленными, но при параллельном запуске позволяют получать результаты приемлемого качества за допустимое время [13, 14].

2. Основные принципы реконфигурации для ИУС с резервированием производительности и децентрализованным управлением.

В отличие от структурного резерва, который предполагает наличие выделенных резервных вычислительных узлов (ВУ), резервирование производительности рассчитано на использование всех имеющихся ВУ для решения комплекса задач управления (ЗУ). При этом каждый ВУ имеет производительность выше, чем необходимо для решения комплекса задач управления (ЗУ) ИУС в запланированное время. Использование такого способа резервирования приводит к тому, что в случае отказа одного из ВУ ЗУ распределяются по работоспособным узлам в зависимости от налагаемых на систему ограничений. Подробно резервирование производительности и процедура реконфигурации рассмотрена в работах [15,16]. Здесь приведено схематичное представление реконфигурации (рис.3,4).

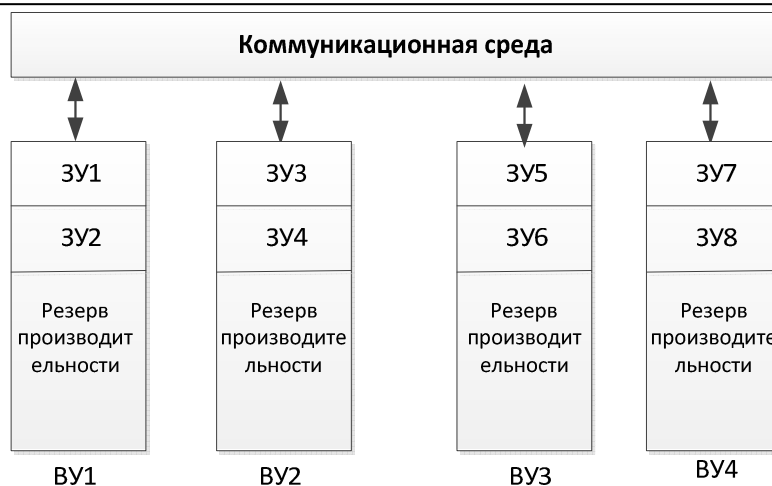


Рис. 3. Графическое представление резерва производительности, все ВУ работоспособны

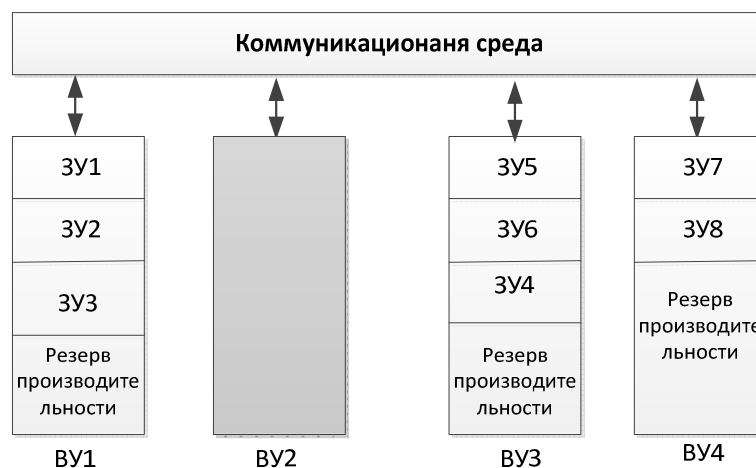


Рис.4. Графическое представление резерва производительности, один отказ

При таком способе резервирования в случае централизованного управления центральный управляющий элемент берет на себя задачу перезапуска ЗУ с отказавшего ВУ на ВУ функционирующих. При использовании полностью децентрализованного управления задача перезапуска ЗУ делегируется локальным агентам, управляющим ВУ.

Децентрализованное диспетчирование реализуется на основе многоагентной системы, как показано на рис.5. Каждый ВУ представлен собственным программным агентом, в обязанности которого входят следующие основные действия:

- обмен информационными сообщениями (ИС) с другими агентами для поддержания представления о текущем состоянии системы. Если агенты не получают ИС от какого-либо из агентов, существует высокая вероятность того, что ВУ «отсутствующего» агента отказал;

- проведение совместной процедуры реконфигурации путем кооперативного принятия решения по поводу следующей конфигурации системы после отказа.

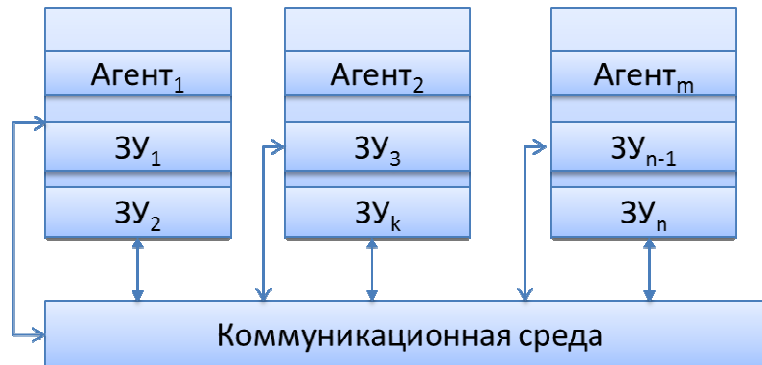


Рис.4. Представление ВУ агентами и их взаимодействие

3. Модель задачи формирования конфигураций.

Описание модели задачи формирования конфигураций содержится в работах [15-18], но, на взгляд авторов, нуждается одновременно в упрощении и обобщении, что и сделано ниже.

Пусть имеется N ЗУ с вычислительной сложностью g_i , M ВУ с одинаковой производительностью m_j , $U = \{u_{ij}\}$ – множество значений долей производительности j -го ВУ, выделенной для i -й ЗУ, T – планируемое время завершения множества ЗУ, $F = \{f_k\}$, $k \in \{1, \dots, M\}$, – множество одновременно отказавших ВУ.

Распределение ЗУ по ВУ описывается кортежем:

$a_i = \langle j, u_{ij}, t_i \rangle$, где j – номер ВУ, u_{ij} – выделенный на задачу ресурс (доля от производительности ВУ), t_i – время начала решения i -й ЗУ.

Таким образом, множество $A = \{a_i\}$ определяет конфигурацию ИУС перед отказами, множество $A' = \{a'_i\}$, соответственно, после отказов и реконфигурации. Фактически, A' является решением задачи формирования конфигурации, и a'_i – кортежи, описывающие новые назначения ЗУ i .

Как и в работах [17,18], в качестве критериев оптимизации выбираются следующие.

Во-первых, в процессе реконфигурации не должно происходить перемещения ЗУ с работающими ВУ, или, по крайней мере, число таких должно быть минимальным из всех возможных. Это условие связано непосредственно с необходимостью обработки и перемещения на другой ВУ контекстных данных задачи, что крайне нежелательно из-за добавления операций в процедуру реконфигурации и увеличения нагрузки на коммуникационную среду.

Целевая функция, формализующая изложенное требование, будет приведена далее.

Для этого определим операцию вычитания для множеств A и A' таким образом, что:

$$a_i - a_i' = \begin{cases} 0, & \text{если } j \text{ равно } j'; \\ 1, & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (1)$$

Отметим, что равенство j и j' означает, что номер ВУ, на котором выполняется ЗУ, не изменился после реконфигурации.

Тогда первый компонент целевой функции будет иметь следующий вид:

$$F_1 = \sum_{i=1}^N (a_i - a_i') \rightarrow MIN \quad (2)$$

В идеальном случае должны быть перемещены только те ЗУ, которые до реконфигурации исполнялись на отказавшем ВУ.

Следующий критерий оптимизации является числом снятых с выполнения ЗУ. На практике часть ЗУ относятся к подмножеству задач, выполнение которых критично для функционирования системы, часть же реализует некоторые функции, которые опциональны. По этой причине в процессе реконфигурации с целью получения лучших решений может быть избрана стратегия снятия с выполнения некритических задач. С другой стороны, в аспекте оценивания отказоустойчивости системы имеет смысл сохранять наибольшее число некритических задач из возможных. Таким образом, целевая функция, отражающая снятие с выполнения некритических задач, примет вид:

$$F_2 = |A| - |A'| \rightarrow MIN \quad (3)$$

Достижение минимума для формализованной таким образом целевой функции будет означать, что все некритические ЗУ сохранены и продолжают выполняться после реконфигурации.

В качестве третьего критерия было выбрано выравнивание нагрузки по ВУ. Критерий этот важен по причине экспоненциальной зависимости значений функции безотказной работы отдельно взятого ВУ от его температуры, которая, в свою очередь, зависит от нагрузки [19].

$$F_3 = \sum_{k=1}^K u'_{kj} - \sum_{l=1}^L u'_{lq} \rightarrow MIN, \forall j, q, \quad (4)$$

где K – число ЗУ назначенных на ВУ j , L – число ЗУ, назначенных на ВУ q .

Основным ограничением в модели задачи формирования конфигураций является время завершения решения комплекса задач T :

$$t_i' + \frac{g_i}{u'_{ij} \cdot m_j} \leq T, \forall i, j. \quad (5)$$

Кроме того, множество ВУ после реконфигурации не является эквивалентным множеству ВУ до реконфигурации, учитывая отказавшие ВУ:

$$M' = M - F, \quad (6)$$

где M' , M и F - множества ВУ.

В качестве граничных условий были установлены следующие: все переменные положительны, $0 < u_{ij} < 1$, $0 < u'_{ij} < 1$, $\forall i, j$. Исходя из изложенного в данном разделе, векторное представление целевой функции будет включать выражения (2) - (4), с ограничениями (5), (6) и указанными граничными условиями.

Таким образом, сформулированная задача является многокритериальной с ограничениями, что делает нетривиальной процедуру поиска оптимальных решений.

4. Децентрализованные алгоритмы реконфигурации

Процедура реконфигурации, основанная на агентном подходе, включает два основных этапа:

- проверка необходимости реконфигурации;
- реконфигурация.

Первый этап, проверка необходимости реконфигурации, необходим для того, чтобы убедиться в адекватности локального представления состояния системы. Будем считать, что система действительно требует реконфигурации, когда не менее $2/3$ агентов «поддерживают» это мнение [12].

Алгоритм проверки необходимости реконфигурации основан на централизованном алгоритме рассылки, поскольку инициатором является агент, не получивший какое-либо ИС от другого агента.

Будем считать, что у каждого агента есть возможность организации очереди сообщений в рамках дисциплины FIFO. Также локальное состояние агента считается адекватным состоянию системы в том случае, когда не менее $2/3$ других агентов имеют то же состояние.

```

Begin
  Int f:=0;
  If (not_received(CNAk)) f:= id (CNAk); // сообщение от k-го агента не
получено;
  forallneighboursdosendf; //рассылается идентификатор предположи-
тельно отказавшего узлаN-1 соседям, или 0 если нет отказов;
  receive (in_queue); //проверка входящих ответов
  ifnumber_of_values (finin_queue)>2*in_queue_size/3 //если более чем
2/3 агентов «согласны» с идентификатором отказавшего узла, то требу-
ется реконфигурация
  for all neighbours do send reconfig_sign;
//иницируетсяреконфигурация
  else (stop generate informational
messages);//агентсчитаетотказавшимсебясамого
end.
```

Следующий алгоритм реализует процедуру реконфигурации.

Так как коммуникационная среда считается полносвязной, будем использовать комбинацию децентрализованных алгоритмов рассылки и выбора лидера.

Begin.

Leader_id = id; // агент считает лидером себя

For all neighbours do send id;

Receive (in_queue); //здесь идентификаторы других агентов системы

If someone_in_queue > id Leader_id = someone_in_queue; //если другой агент имеет идентификатор больший, чем текущий

If (Leader_id == id) //продолжает считаться лидером

For all neighbours do { send (random_search_method_choice); } // лидер рассылает прочим агентам идентификатор метода решения задачи формирования конфигураций

Own_search_method = random_search_method_choice; //выбрать его собственный метод поиска

Do get_result = SA_search (own_search_method); //поиск новой конфигурации

If in_result != NULL // если другой агент нашел жизнеспособную конфигурацию

{ Stop_search;

Send_neighbours (get_result);

If (in_result > get_result) // '>' означает «лучше»

{ get_result := in_result; leader_id := in_leader_id } //выбрать лучшее решение и нового лидера

If (get_result != NULL and leader_id == id) do { send_neighbours (result, leader_id); } //текущий агент нашел решение быстрее прочих и рассылает его другим агентам.

New_config := get_result;

End.

Другим способом решения, какой из методов поиска будут использовать агенты, является заранее predetermined методы поиска, ассоциированные с идентификаторами агентов, что упрощает процедуру реконфигурации.

Begin.

Leader_id = id; // агент считает лидером себя

Own_search_method = predefined_search_method; // выбор собственного метода поиска конфигураций

Do get_result = SA_search (own_search_method); //поиск новой конфигурации

If in_result != NULL // если другой агент нашел решение раньше и разослал по всем агентам системы

```

{
  Stop_search;
  Send_neighbours (get_result);
  If (in_result>get_result) // входящее решение лучше, чем найденное
    {get_result:=in_result; leader_id:=in_leader_id}} //выбор лучшего
решения или дера
  If (get_result!=NULL and leader_id==id) do {send_neighbours (result,
leader_id);} } //остановка вычислений и рассылка найденного решения всем
агентам системы
  New_config:=get_result;
  End.

```

5. Результаты эксперимента

Чтобы оценить эффективность предлагаемого метода, было проведено имитационное моделирование получения конфигураций с использованием параллельной имитации отжига. Использовалась программная модель ИУС с количеством ВУ=10 и двумя одновременными отказами. При этом решалась задача формирования конфигураций с использованием параллельной асинхронной процедуры имитации отжига (в этом случае поисковые процедуры проводятся на ВУ независимо друг от друга с последующим выбором лучшего полученного результата).

Полученные конфигурации были оценены с точки зрения критерия выравнивания нагрузки, поскольку распределение нагрузки влияет на вероятность безотказной работы ВУ [6]. Было проведено сравнение конфигураций, полученных с использованием параллельной асинхронной имитации отжига с идентичными температурными схемами и идентичными начальными точками и конфигураций, полученных посредством асинхронной параллельной имитации отжига с различными схемами понижения температуры и различными точками иницирующими поиск. Ниже на рис. 5-7 приводятся примеры полученных пиковых нагрузок ВУ.

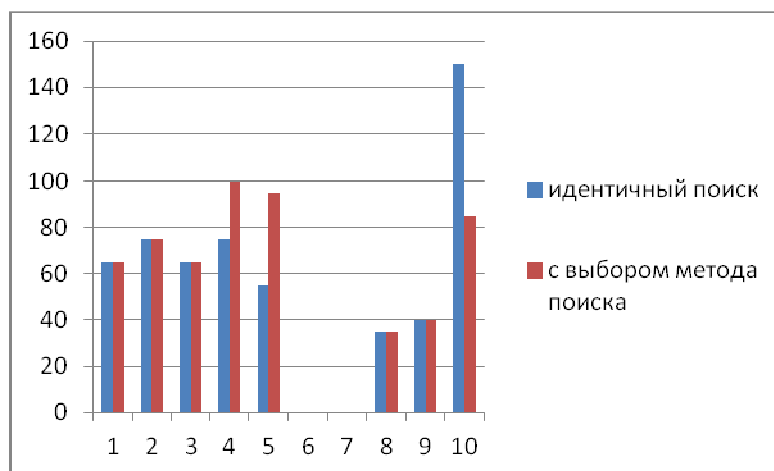


Рис. 5. Распределение нагрузки по ВУ с отказами 6,7 ВУ

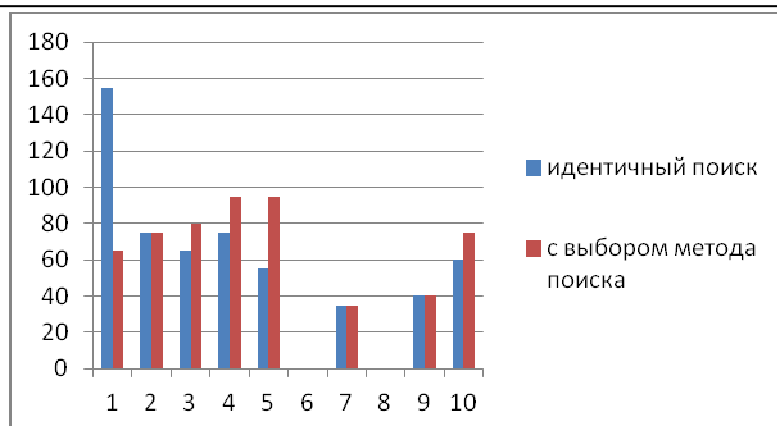


Рис. 6. Распределение нагрузки по ВУ с отказами 6,8 ВУ

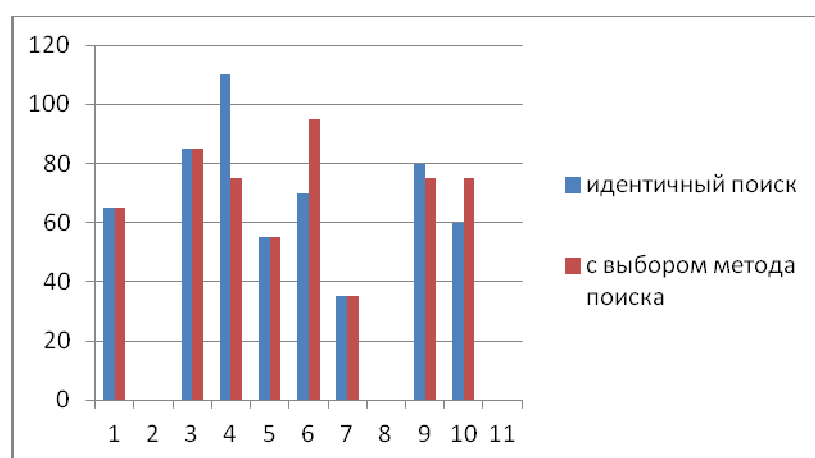


Рис. 7. Распределение нагрузки по ВУ с отказами 2,8 ВУ

Диаграммы загрузок ВУ, представленные на рис. демонстрируют очевидное сглаживание пиков при добавлении возможности комбинирования параметров и методов поиска.

Следующие графики демонстрируют тенденции улучшения качества получаемых конфигураций при совместном проведении процедуры реконфигурации.

Выводы

Данная статья посвящена вопросам обеспечения надежности распределенных ИУС, что является актуальной научной задачей современности. В фокусе статьи – ИУС с резервом производительности и децентрализованным управлением. Специфика процедуры реконфигурации, характерная для описанного класса систем актуализирует вопросы синтеза новых методов управления ИУС.

В статье предложен комплексный метод организации управления отказоустойчивой информационно-управляющей системой на основе многоагентного взаимодействия, в основу которого положены принципы коо-

перации независимых агентов в условиях возможности выбора методов поисковой оптимизации. Метод опирается на использование распределенных алгоритмов, а также различных подходов к формированию конфигураций.

В рамках исследования предложенного метода было проведено моделирование процедур реконфигурации. Полученные результаты демонстрируют тенденцию улучшения качества получаемых конфигураций при использовании агентом возможности выбора поисковой стратегии.

Исследование выполнено при поддержке проектов 0256-2014-0008, в рамках задания 007-01114-16 PR, и проекта 0256-2015-0080.

Список литературы

1. Каляев И.А., Мельник Э.В. Децентрализованные системы компьютерного управления. Ростов н/Д: Издательство ЮНЦ РАН, 2011. 196 с.
2. Basic concepts and taxonomy of dependable and secure computing / A.Avizienis, J.C.Laprie, B.Randell, C.Landwehr // IEEE Transactions of dependable and secure computing. 2004. Vol.1. No.1.
3. Cerstani D., Godary-Dejean K. Fault-tolerance in control architectures for mobile robots: fantasy or reality? In proc. // Of 7th national conference on Control Architectures of Robots. 2012, Nancy, France.
4. Carlson J., Murphy R. How UGVs physically fail in the field. // IEEE Transaction son Robotics. 2005. Vol. 21. No. 3. P. 423 – 437.
5. Мельник Э.В., Горелова Г.В. Имитационное моделирование вариантов резервирования в распределенных информационно-управляющих системах с децентрализованной организацией // Изв. ЮФУ. Сер. Технические науки. 2013. № 3. С. 184 – 193.
6. Мельник Э.В., Горелова Г.В. Исследование эффекта выравнивания вычислительной нагрузки процессорных устройств в высоконадежных распределенных информационно-управляющих системах // Перспективные системы и задачи управления: материалы 7-й Всерос.науч.-практ.конф. Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2012. С. 316–325.
7. Klimenko A., Melnik E., Ivanov D. The configuration generation problem for the informational and control systems with the performance redundancy. // Proc. Of the 2nd International Conference on Industrial Engineering. Applications and Manufacturing. ICEAM, 2016.
8. Melnik E., Klimenko A. Informational and Control system configuration generation problem with load-balancing optimization. // Proc. of the 10th International conference on Application of Information and Communication Technologies. AICT, 2016.

9. Melnik E., Klimenko A. Agent-based approach to the Distributed Information and control system reconfiguration // *Cybernetics Approaches in Intelligent Systems. Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2017. Vol. 661.

10. Korovin I., Melnik E., Klimenko A. A Recovery method for the Robotic Decentralized Control system with Performance Redundancy. // *Proc. of the First International conference ICR. Lecture Notes in Computer science*. 2016. Vol. 9812.

11. Melnik E.V., Klimenko A.B., Korobkin V.V. The method providing fault-tolerance for information and control systems of the industrial mechatronic objects // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2016. Vol. 177.

12. Tel G. *Introduction to Distributed Algorithms* Cambridge University Press, 2000.

13. Azencott R., Ed., *Simulated Annealing: Parallelization Techniques*. New York: John Wiley and Sons. 1992. P. 47-79.

14. Crainic T.G., Toulouse M. *Parallel Metaheuristics*. In T. G. Crainic and G. Laporte, editors, *Fleet Management and Logistics*. Kluwer Academic Publishers, 1998. P. 205-251.

15. Melnik E., Korobkin V., Klimenko A. System Reconfiguration Using Multiagent Cooperative Principles // *Proc. of the First International Scientific Conference “Intelligent Information Technologies for Industry” (IITI’16)*. 2016. V. 451 (Series “Advances in Intelligent Systems and Computing”). P. 385 – 394.

16. Klimenko A., Klimenko V., Melnik E. The Parallel Simulated Annealing-Based Reconfiguration Algorithm for the Real Time Distributed Control Fault-Tolerance Providing // *Application of Information and Communication Technologies – AICT’2015 (IEEE Catalog Number CFPI556H-PRT)*. Russia, Rostov-on-Don, 2015. P. 277 – 280.

17. Melnik E.V., Klimenko A.B. Informational and Control System Configuration Generation Problem with Load-Balancing Optimization // *Proc. 10th Int. Conf. Appl. Inf. Commun. Technol.* 2016. P. 492–496.

18. Melnik E.V., Klimenko A.B., Korovin I.S. A Novel Approach to Fault Tolerant Information and Control System Design // *Proc. 5-th Int. Conf. Informatics, Electron. Vis. Dhaka, Bangladesh: University of Dhaka*, 2016.

19. Строгонов А. Долговечность интегральных схем и производственные методы ее прогнозирования // *ChipNews*. 2002. № 6. С. 44 – 49.

Мельник Эдуард Всеволодович, д-р техн. наук, главный научный сотрудник, anna.klimenko@mail.ru, Россия, Ростов-на-Дону, Южный научный центр Российской академии наук,

Клименко Анна Борисовна, канд. техн. наук, научный сотрудник, anna.klimenko@mail.ru, Россия, Таганрог, Научно-исследовательский институт многопроцессорных вычислительных систем им. акад. А. В. Каляева ЮФУ

FAULT-TOLERANT INFORMATION AND CONTROL SYSTEM MULTI-AGENT
MANAGEMENT TECHNIQUE

E.V. Melnik, A.B. Klimenko

The paper focuses on the dependability increasing issues of the mechatronic object information and control systems. The fault-tolerant information and control system multi-agent management technique is presented. The technique proposed takes into account the peculiarities of the performance redundancy of the system and the decentralized dispatching. The model of the technique proposed, configuration forming problem model, distributed re-configuration algorithms are presented in the current paper. Besides this, some selected simulation results are given.

Key words: Information and control system, fault-tolerance, dependability, performance redundancy, multiagent approach, decentralized dispatching.

Melnik Eduard Vsevolodovich, doctor of technical sciences, leader research fellow, anna.klimenko@mail.ru, Russia, Rostov-on-Don, Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, pr. Chekhova,

Klimenko Anna Borisovna, candidate of technical sciences, research fellow, anna.klimenko@mail.ru, Russia, Taganrog, Southern Federal University, Scientific Research Institute of multiprocessor computing systems

УДК 004

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТОЧЕК
В ПРОСТРАНСТВЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТЕРЕОЗРЕНИЯ**

Нгуен Ван Шон

Сформирована модель пары камер. Определено положение точек по их изображениям в системе стереозрения.

Ключевые слова: система стереозрения, модель камеры, положение точек в пространстве.

В настоящее время определение геометрических параметров твердого объекта (форма, положение, ориентация и размеры) встречается во многих отраслях: строительстве, археологии, промышленности, оборонной области и т.п. Для определения расстояния на первом шаге решается задача измерения положения точки в пространстве. Эффективным способом решения такой задачи является использование системы стереозрения [1].

Система стереозрения состоит из двух одинаковых камер, каждая из которых моделируется, включает объектив, центр которого считается точкой размещения камеры. Для получения расчетной зависимости предлагается, что оба объектива идеальны и имеют фокусное расстояние f (рис. 1). Камеры размещены в абсолютной системе координат, которая строится следующим образом:

начало координат совпадает с центром левой камеры C ;
 ось Cz совпадает с оптической осью левой камеры;
 ось Cx горизонтальна и направляется по прямой C ;
 ось Cy направляется так, чтобы система координат $Cxyz$ была правой ортогональной.

Связанная с правой камерой система координат выбирается следующим образом:

начало координат совпадает с центром правой камеры C_R ;
 ось C_Rz_R совпадает с оптической осью правой камеры;
 ось C_Ry_R направляется параллельно с осью Cy ;
 ось C_Rx_R направляется так, чтобы система координат $C_Rx_Ry_Rz_R$ была правой ортогональной.

Установка двух камер производится таким образом, что прямая CC_R , соединяющая центры камер, располагалась по оси x и имела длину d . Угол между двумя оптическими осями камер равен φ . Объективы фокусируют изображение в плоскости расположения фотоприемников, при этом предполагается, что точка P фокусируется в точку P_L левой и точку P_R правой камеры.

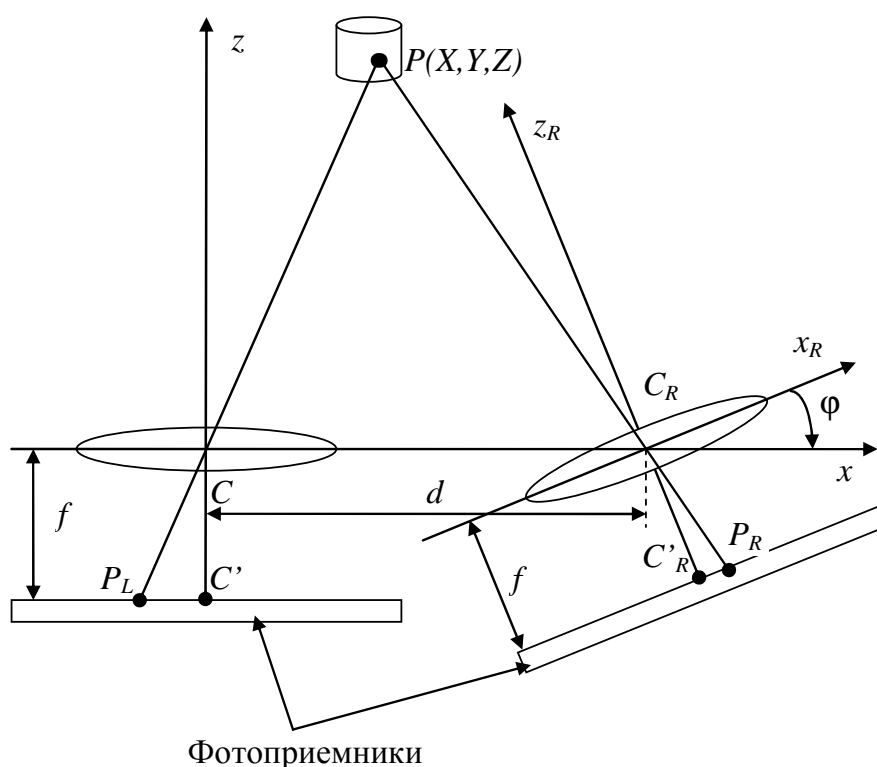


Рис. 1. Модель системы стереозрения и системы координат

Точка P имеет координаты X, Y, Z . Ее положение на изображении в левой камере определяется значениями X_{iL}, Y_{iL} , в правой камере - значениями X_{iR}, Y_{iR} (рис. 2).

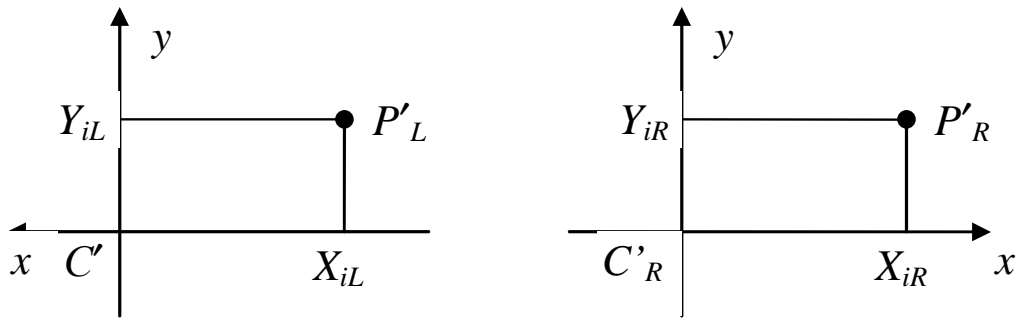


Рис. 2. Координаты точек P_L и P_R в камерах

Главные оптические оси пересекаются с плоскостями расположения фотоприемников в точках C' и C'_R . При этом координаты точки P_L в абсолютной системе координат определяются выражением:

$$P_L \begin{pmatrix} X_L \\ Y_L \\ Z_L \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_{iL} - X_{C'} \\ Y_{iL} - Y_{C'} \\ -f \end{pmatrix}. \quad (1)$$

С другой стороны, P_L – изображение точки $P(X, Y, Z)$ в левой камере, следовательно:

$$P_L \begin{pmatrix} X_L \\ Y_L \\ Z_L \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -f \frac{X}{Z} \\ -f \frac{Y}{Z} \\ -f \end{pmatrix}. \quad (2)$$

В системе координат $C_R X_R Y_R Z_R$, точка P имеет координаты $P(X', Y', Z')$. Аналогично для точки P_R – изображение точки $P(X', Y', Z')$ в системе координат $C_R X_R Y_R Z_R$:

$$P_R \begin{pmatrix} X_R \\ Y_R \\ Z_R \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_{iR} - X_{C'_R} \\ Y_{iR} - Y_{C'_R} \\ -f \end{pmatrix}, \quad (3)$$

$$P_R \begin{pmatrix} X_R \\ Y_R \\ Z_R \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -f \frac{X'}{Z'} \\ -f \frac{Y'}{Z'} \\ -f \end{pmatrix}. \quad (4)$$

Отношение координаты точки в двух системах координатах может описываться с помощью матриц однородного преобразования [2]:

$$\begin{pmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \\ 1 \end{pmatrix} = R(y, \varphi) \cdot T(-d, 0, 0) \cdot \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \varphi & 0 & \sin \varphi & -d \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin \varphi & 0 & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{pmatrix}, \quad (5)$$

где $R(y, \varphi) = \begin{pmatrix} \cos \varphi & 0 & \sin \varphi & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin \varphi & 0 & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$ – однородная матрица, обеспечиваю-

щая поворот угла φ вокруг оси C_{RYR} ; $T(-d, 0, 0) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & -d \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$ – одно-

родная матрица, обеспечивающая сдвиг по вектору $(-d, 0, 0)$.

Из равенств (2), (4) и (5) получаются выражения, определяющие координаты точки $P(X, Y, Z)$:

$$P \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{-X_L df}{(f^2 + X_L X_R) \sin \varphi + f(X_R - X_L) \cos \varphi} \\ \frac{-Y_L df}{(f^2 + X_L X_R) \sin \varphi + f(X_R - X_L) \cos \varphi} \\ \frac{df^2}{(f^2 + X_L X_R) \sin \varphi + f(X_R - X_L) \cos \varphi} \end{pmatrix}, \quad (6)$$

где X_L, Y_L, X_R, Y_R - определяются по выражениям (1) и (3).

Полученные зависимости определяют положение точки в предположении, что объективы камер являются идеальными. На практике, из-за технологии изготовления объективы имеют аберрации, которые сводятся к смещению изображения точки. Эта проблема решается введением в модель нелинейной зависимости между идеальным и реальным изображениями. Разность координат вводится в зависимость по результатам проведения экспериментальных исследований объектива. Такая процедура называется калибровкой камеры. Другая проблема в системе стереозрения, это точность установки параллельно пары камер. Такая погрешность также может уменьшаться калибровкой системы.

Таким образом, при известных положениях точек в изображениях системы стереозрения, могут восстановиться формы и размеры объекта, что является важнейшей информацией для дальнейших действий.

Список литературы

1. Corke P. Robotics, vision and control fundamental algorithms in Matlab ®. Australia: Springer, 2017. 693 p.

2. Зенкевич С.Л., Ющенко А.С. Основы управления манипуляционными роботами. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. 480 с.

Нгуен Ван Шон, асп., sugus105@yandex.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет

DEFINITION OF THE POSITION OF POINTS IN THE SPACE WITH THE USING STEREO-VISON

Nguyen Van Son

A model of a pair of cameras is formed. The positions and orientations of the object are determined from its images in the stereo-vision system.

Key words: stereo vision system, camera model, position of the points in space.

Nguyen Van Son, postgraduate, sugus105@yandex.ru, Russia, Tula, Tula State University

УДК 004

ОПТИМАЛЬНЫЙ МЕТОД ДЛЯ КОРРЕЛЯЦИОННОГО СОПОСТАВЛЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Нгуен Ван Шон

Показаны методы для решения задачи корреляционного сопоставления изображений. Определены затраты на вычисление в бортовой микро-ЭВМ мобильного робота при разных методах. Сделаны выводы для оптимального выбора метода при корреляционном сопоставлении.

Ключевые слова: корреляционное сопоставление, затрата на вычисление, сигнальная область, преобразование Фурье, частотная область.

Одной из задач системы технического зрения роботов является задача обнаружения объектов по их образам. Задача решается с помощью бортовой ЭВМ. Существуют два способа решения задачи: поиск объекта, образ которого представлен в виде изображения, и поиск объекта, образ которого представлен в виде частотного спектра. Каждый из указанных способов имеет свои затраты вычислительных ресурсов и свою эффективность. Оба фактора должны быть оценены на этапе разработки системы технического зрения и должен быть выбран метод, обеспечивающий оптимальное распознавание объектов за приемлемое время.

Для оценки временных параметров методов предположим, что образец объекта представляет собой изображение w , которое имеет размер $J \times K$ пикселей, а одно из изображений f потока, формируемого камерами наблюдения, имеет размеры $M \times N$ пикселей. Для ответа на вопрос о присутствии образца w в изображении f необходимо вычислить соответствие между двумя видеосигналами с использованием критерия, в котором ищется максимум корреляционной функции между ними.

В сигнальной области корреляционная функция между f и w определяется по формуле:

$$g(x, y) = f(x, y) \circ w(x, y) = \frac{1}{MN} \sum_s \sum_t w(s, t) f(x + s, y + t), \quad (1)$$

$$x = 0, 1, 2, \dots, M - 1; y = 0, 1, 2, \dots, N - 1,$$

где суммирование ведется по той области изображения, в которой f и w пересекаются.

Рис. 1 иллюстрирует процедуру корреляции в предположении, что начало координат f находится в левом верхнем углу изображения, а начало координат w – в центре образца. Когда центр образца находится на границах изображения f , для вычисления суммы (1) необходимо расширить границу изображения f нулями, как показано на рис. 1.

Для одной точки (x, y) в изображении f применяется формула (1), и получается результирующая функция $g(x, y)$. Затрата на вычисление одного пиксели функции g равна JK операций умножения/сложения. Следовательно, для всего изображения $f(x, y)$, затрата на вычисление $g(x, y)$ определяется:

$$\mathfrak{R}_1 = JKMN \text{ (операций умножения/сложения)} \quad (2)$$

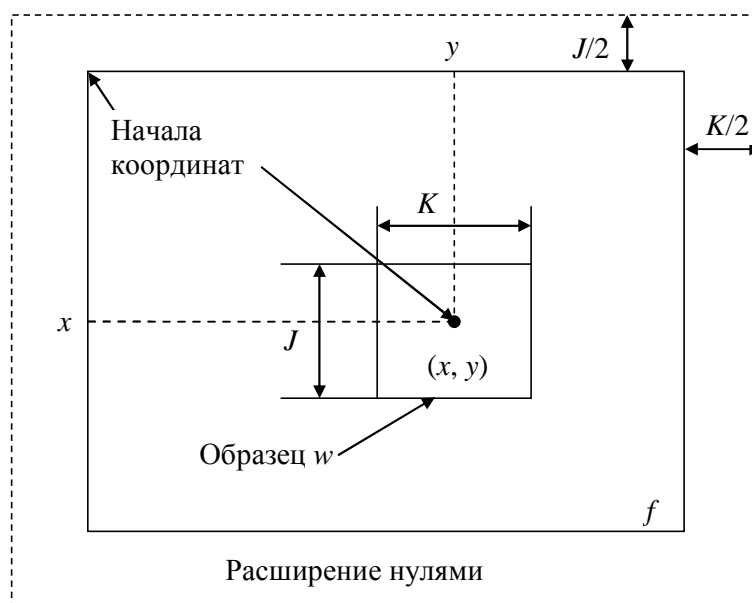


Рис. 1. Схема получения значения корреляции g в точке (x, y)

Рассмотрим решение по второму методу, а именно, определение корреляции $g(x, y)$ в частотной области. Для этого, в первую очередь, нужно знать прямое дискретное преобразование Фурье, с помощью которого преобразуют сигнал изображения в частотную область:

$$F(u, v) = \frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) e^{-i2\pi \left(\frac{ux}{M} + \frac{vy}{N} \right)}, \quad (3)$$

где u и v – частоты.

Обратное дискретное преобразование задается формулой:

$$f(x, y) = \frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} F(u, v) e^{i2\pi \left(\frac{ux}{M} + \frac{vy}{N} \right)}. \quad (4)$$

Введем обозначения

$$f(x, y) = \mathfrak{F}^{-1}[F(u, v)]; \quad \mathfrak{F}[f(x, y)] = F(u, v).$$

Согласно теореме о корреляции:

$$\mathfrak{F}[f(x, y) \circ w(x, y)] = F^*(u, v)W(u, v),$$

где $F^*(u, v)$ обозначает функцию, комплексно-сопряженную функции $F(u, v)$; $W(u, v) = \mathfrak{F}[w(x, y)]$.

Можно показать, что функция $F(u, v)$ является периодической по обоим переменным u и v , периоды которой равны M и N соответственно [2]. При свертке периодических функций возникают эффекты интерференции между смежными периодами, если эти периоды близко относительно длины ненулевых частей функций. Эту интерференцию, которую принято называть ошибкой возврата или ошибкой перекрытия, можно устранить дополнением нулями к функциям $f(x, y)$ и $w(x, y)$ для получения расширенных функций, имеющих одинаковые размеры $P \times Q$:

$$f_d(x, y) = \begin{cases} f(x, y), & \text{если } 0 \leq x \leq M-1 \text{ и } 0 \leq y \leq N-1; \\ 0, & \text{если } M \leq x \leq P \text{ или } N \leq y \leq Q, \end{cases}$$

и

$$w_d(x, y) = \begin{cases} w(x, y), & \text{если } 0 \leq x \leq J-1 \text{ и } 0 \leq y \leq K-1; \\ 0, & \text{если } J \leq x \leq P \text{ или } K \leq y \leq Q, \end{cases}$$

где P и Q – целые числа, которые выбираются по следующим правилам:

$$P \geq J + M - 1; \text{ и } Q \geq K + N - 1. \quad (5)$$

При этом алгоритм получения корреляционной функции $g(x, y)$ между $w(x, y)$ и $f(x, y)$ построен следующим образом [2]:

шаг 1: вычисление $F_d(u, v) = \mathfrak{F}[f_d(x, y)]$ по формуле

$$F_d(u, v) = \frac{1}{PQ} \sum_{x=0}^{P-1} \sum_{y=0}^{Q-1} f_d(x, y) e^{-i2\pi \left(\frac{ux}{P} + \frac{vy}{Q} \right)};$$

шаг 2: вычисление $W_d(u, v) = \mathfrak{F}[w_d(x, y)]$ по формуле

$$W_d(u, v) = \frac{1}{PQ} \sum_{x=0}^{P-1} \sum_{y=0}^{Q-1} w_d(x, y) e^{-i2\pi \left(\frac{ux}{P} + \frac{vy}{Q} \right)};$$

шаг 3: вычисление $G_d(u, v) = F_d * (u, v) W_d(u, v)$;

шаг 4: вычисление $g_d(x, y) = \mathfrak{F}^{-1}[G_d(u, v)]$;

шаг 5: обрезать изображение $g_d(x, y)$ размеров $P \times Q$ до изображения $g(x, y)$ начальных размеров $M \times N$.

Если применяются формулы (3) и (4), то затраты на вычисление шагов 1, 2, 4 равны $3P^2Q^2$ операций умножения/сложения. Кроме этого, затраты на вычисление шага 3 равны PQ операций умножения. Отсюда следует, что затраты на вычисление $g(x, y)$ при данном методе:

$$\mathfrak{R}_2 = 3P^2Q^2 + PQ. \quad (6)$$

Из (2) и (6) видно, что $\mathfrak{R}_2 > \mathfrak{R}_1$ при всех значениях J, K, M, N . Но отмечено, что для определения дискретного преобразования Фурье существует быстрый алгоритм, который позволяет вычислять шаг 1 за $PQ \log_2(PQ)$ операциями умножения/сложения [1, 4]. Для применения быстрого преобразования Фурье к изображению f_d размеров $P \times Q$ необходимо формировать из него расширенное изображение f_{d2} размеров $P' \times Q'$ дополнением нулевых значений следующим образом:

$$f_{d2}(x, y) = \begin{cases} f_d(x, y), & \text{если } 0 \leq x \leq P-1 \text{ и } 0 \leq y \leq Q-1; \\ 0, & \text{если } P \leq x \leq P' \text{ или } Q \leq y \leq Q', \end{cases}$$

где P' и Q' – целые числа, которые выбираются по следующим правилам:

$$P' = \min_{m \in \mathbb{Z}} \{2^m \geq P\}. \quad (7)$$

Из условий (5) и (7), можно формулировать общее правило для определения корреляционной функции изображений между f и w с использованием быстрого преобразования Фурье:

$$P' = \min_{m \in \mathbb{Z}} \{2^m \geq J + M - 1\} \text{ и } Q' = \min_{m \in \mathbb{Z}} \{2^m \geq K + N - 1\}. \quad (8)$$

С применением алгоритма быстрого преобразования затраты на вычисление $g(x, y)$

$$\mathfrak{R}_3 = 3P'Q' \log_2(P'Q') + P'Q'. \quad (9)$$

Для сравнения \mathfrak{R}_1 и \mathfrak{R}_3 составляется разность между ними:

$$\mathfrak{R} = \mathfrak{R}_3 - \mathfrak{R}_1 = 3P'Q' \log_2(P'Q') + P'Q' - KJMN. \quad (10)$$

Для относительной оценки разности \mathfrak{R} предположено, что все изображения квадратные: $J = K, M = N, P' = Q'$. При этом следует, что

$$\mathfrak{R} = 6P'^2 \log_2 P' + P'^2 - J^2 M^2. \quad (11)$$

С другой стороны, условие (8) позволяет оценить:

$$P' < 3(J + M - 1). \quad (12)$$

От (11) и (12) можно записать

$$\mathfrak{X} < 54(J + M - 1)^2 \log_2(J + M - 1) + 9(J + M - 1)^2 - J^2 M^2 = Y(J, M).$$

График функции Y при разных значениях J приведен на рис. 2. Из графика видно, что если размеры образца очень маленькие (ниже 30*30 пикселей), то вычисление в сигнальной области может быть быстрее. Но при больших размерах образца (более 30*30 пикселей), вычисление в частотной области является более эффективным. Кроме того, с увеличением размера M -изображения (увеличение разрешающей способности камеры) получается больший выигрыш, чем при вычислении в частотной области.

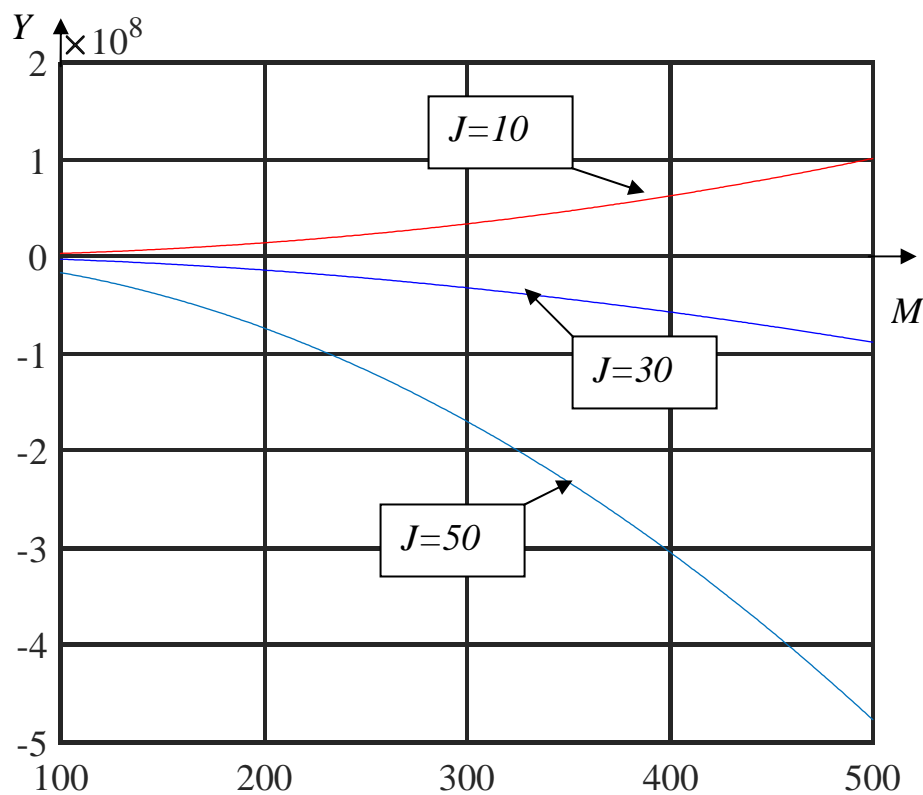


Рис. 2. График для сравнения затрат по размеру образца

Анализ затрат на вычисление корреляционной функции по разным методам и влияния размеров изображений позволяет выбрать оптимальный метод для ускорения работы микроЭВМ и уменьшения времени обработки видеоданных при поиске образца в последовательности изображений на основе корреляционного сопоставления.

Список литературы

1. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2005. 1072 с.

2. Гонсалес Р., Вудс Р., Эддинс С. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB. М.: Технофера, 2006. 616 с.

3. Gonzalez R.C., Woods R.E. Digital image processing. Pearson Prentice Hall, 2007. 976 p.

4. Воскобойников Ю.Е., Гочаков А.В., Колкер А.Б. Фильтрация сигналов и изображения: фурье и вейвлет алгоритмы (с примерам в Mathcad). Новосибирск: НГАСУ, 2010. 188 с.

Нгуен Ван Шон, асп., sugus105@yandex.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет

OPTIMAL METHOD FOR MATCHING BY CORRELATION OF IMAGES

Nguyen Van Son

Methods are shown for solving the problem of correlation of images. The costs of computations the on-board microcomputers of a mobile robot under different methods have been determined. The conclusions are drawn for the optimal choice of the method in the matching by correlation.

Key words: matching by correlation, cost of computations, signal domain, Fourier transform, frequency domain.

Nguyen Van Son, postgraduate, sugus105@yandex.ru, Russia, Tula, Tula State University

УДК 519.6

О ПОДХОДЕ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ АДАПТИВНОЙ ТРЕНАЖЁРНОЙ СИСТЕМЫ СТРЕЛКОВОГО ОРУЖИЯ

А.Н. Привалов, В.Л. Кулешов

Рассматриваются принципы построения учебно-тренировочных средств для подготовки специалистов. На основе обобщённой структуры тренажёрной системы обучения предложена структурная схема адаптивной тренажёрной системы. Проанализированы этапы разработки интеллектуальной (адаптивной) тренажёрной системы. В концепции обучения с применением адаптивной тренажёрной системы целесообразно применить теорию программированного обучения.

Ключевые слова: структурно-функциональная схема, адаптивная тренажёрная система, концепция программированного обучения.

В настоящее время возрастают темпы работ по созданию современных технических средств обучения для Вооружённых Сил вследствие как постоянного усложнения средств вооруженной борьбы и необходимости подготовки специалистов в приемлемые сроки, так и возрастающей стоимости проведения полномасштабных учений и совместных тренировок боевых расчетов.

В современных условиях применение учебно-тренировочных средств (УТС) в обучении как никогда актуально. Масштабное внедрение в боевую подготовку инновационных средств и технологий обучения в сочетании с традиционными формами и методами (практическая стрельба, вождение, тактические учения) позволяет в сжатые сроки и при минимальных затратах достигать высокого уровня подготовки специалистов, слаженности воинских частей, органов управления.

В настоящее время учебно-тренировочные средства реализуются на основе принципов:

- унифицированное защищенное общее программное обеспечение;
- единая система моделирования боевых действий;
- единая система трехмерной визуализации виртуального боевого пространства;
- единые форматы цифровых карт и моделей местности;
- максимально возможная унификация конструкторско-технологических решений;
- модульность построения для обеспечения инвариантности исполнения тренажеров;
- возможность объединения экипажных и других тренажеров в единую систему для подготовки подразделений и органов управления соединений, и воинских частей.

Наряду с этим, с целью повышения эффективности подготовки личного состава одной из актуальных задач является разработка интеллектуальных (адаптивных) тренажёрных систем. В этой связи предлагается следующая обобщённая структура тренажёрной системы средств ближнего боя (рис. 1).



Рис. 1. Обобщённая структура тренажёрной системы

Аппаратная подсистема тренажёрной системы включает органы управления, имитирующие приборы для управления огнём и средства связи, выполненные совместно с аналого-цифровыми преобразователями и вычислительные средства.

Программная подсистема тренажёрной системы включает модель предметной области, выполненную в виде фоно-целевой обстановки на основе цифровой карты местности, программный модуль учебно-тренировочных задач, интерфейс должностных лиц, вспомогательные подсистемы для осуществления информационного взаимодействия и учёта успеваемости обучаемых.

Создание интеллектуальной (адаптивной) информационно-обучающей тренажёрной системы, с контуром обратной связи, позволит реализовать следующие функции (рис. 2):

- обеспечение контекстно-зависимой подсказки обучаемым при выполнении учебно-тренировочных задач в диалоговом режиме обучения;
- интеллектуальное поведение тренажёрной системы;
- анализ действий обучаемого на каждом шаге обучения, выдача рекомендаций и обеспечение информационного воздействия по результатам обучения.

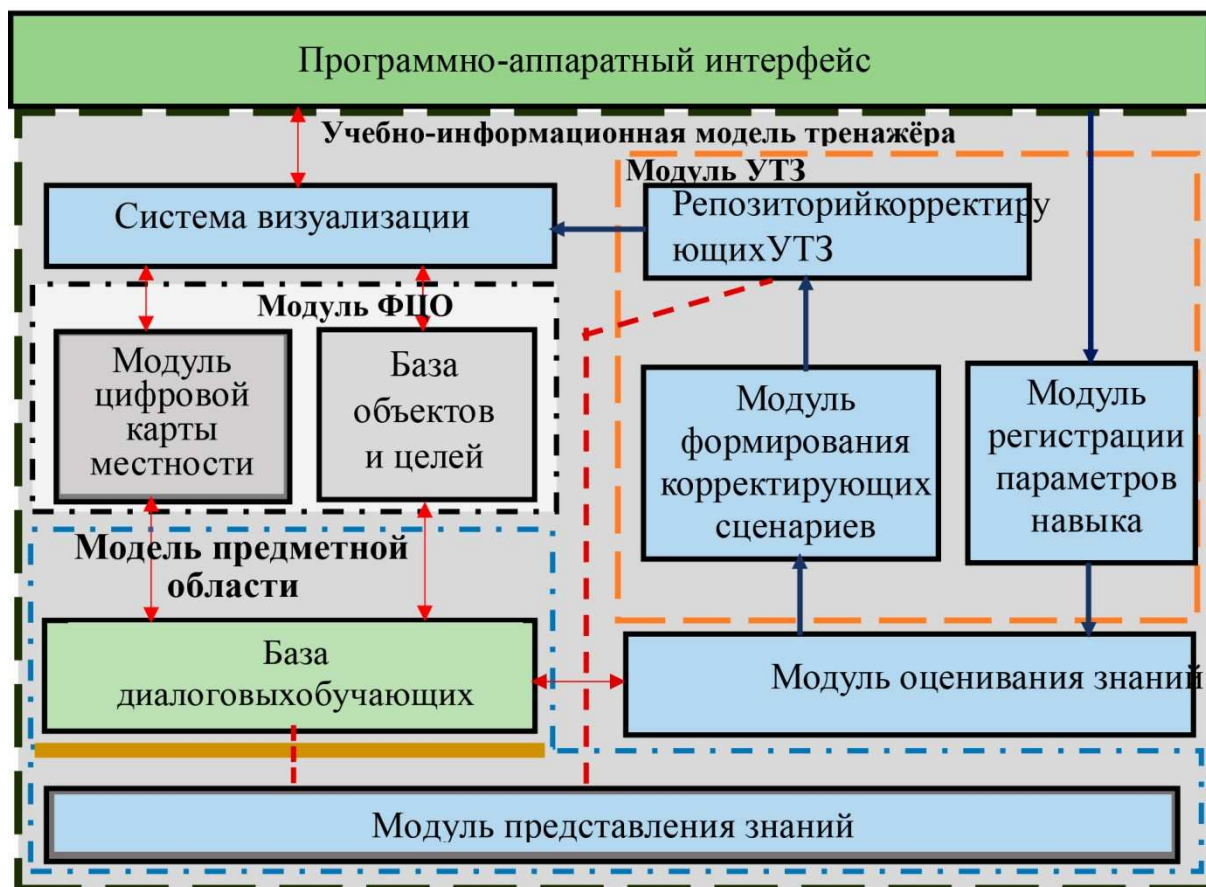


Рис. 2. Структурная схема адаптивной тренажёрной системы

Разработка интеллектуальной (адаптивной) тренажёрной системы сопряжена с выполнением ряда этапов:

- создание психолого-педагогической концепции обучения;
- разработка модели предметной области (МПО);
- разработка математических моделей модуля формирования адаптирующих сценариев;
- разработка математических моделей модуля оценивания знаний;
- разработка структуры учебно-тренировочных заданий (УТЗ) для коррекции обучаемого;
- формирование дидактического материала базы диалоговых обучающих сценариев.
- формирование дидактического материала для создания репозитория учебно-тренировочных заданий;

Психолого-педагогическую концепцию целесообразно формировать на основе активных методов обучения, поскольку методика обучения может быть действенной тогда, когда она строится на методах и приемах, активизирующих деятельность самого обучаемого, прежде всего мыслительную, и служит умственному развитию личности.

К активным методам относятся следующие три группы методов:

- методы программированного обучения;
- методы проблемного обучения;
- методы интерактивного (коммуникативного) обучения.

Несмотря на известную критику программированного обучения (бихевиористская схема «стимул — реакция — подкрепление» неадекватна человеческому поведению) в самой идее программирования процесса обучения есть рациональное зерно, поскольку в исследованиях отечественных психологов [1] было показано, что теория поэтапного формирования умственных действий позволяет программировать не порции запоминаемого учебного текста, а саму учебную деятельность обучающегося.

Исходя из сказанного, в основе психолого-педагогической концепции обучения адаптивной тренажёрной системы целесообразно применить теорию программированного обучения, организуемого в соответствии с теорией поэтапного формирования умственных действий. В качестве основных методических средств выберем следующие:

- схема ориентировочной основы действий (ООД), позволяющая обучаемому безошибочно (правильно, по существу и в нужной последовательности) выполнять осваиваемые действия (и деятельность в целом);
- набор учебных задач, моделирующих самые разнообразные ситуации, складывающиеся в реальной действительности при выполнении данной деятельности (обучаемый решает эти задачи, опираясь на схему ООД).

Разработку интеллектуальной (адаптивной) тренажёрной системы возможно произвести на примере существующего стрелкового тренажёра для средств ближнего боя (рис. 3).

Данный тренажёр предназначен для приобретения и развития начальных навыков стрельбы по неподвижным, движущимся и появляющимся целям из стрелкового оружия и позволяет оценивать параметры обучаемого при выполнении учебных задач.



Рис. 3. Стрелковый тренажёр

Программное обеспечение стрелкового тренажёра регистрирует параметры, характеризующие действия обучаемого по основным показателям владения стрелковым оружием:

- траектории наведения на цель;
- угол свала оружия;
- увод ствола при выстреле;
- девиацию прицельной линии до и после выстрела;
- точки попадания;
- формирование базы оценочных параметров

Увеличить набор параметров, регистрируемых программным специализированным тренажёром возможно с помощью введения в состав имитатора оружия датчиков, контролирующих навыки стрелка при производстве выстрела:

- удержание пистолетной рукоятки;
- постановка затыльника приклада и контроль усилия нажима приклада в плечо;
- прикладка щеки к гребню приклада;
- положение головы относительно верхней части приклада и прицельных приспособлений автомата;
- обработка спускового крючка.

Анализ механизма взаимодействия стрелка и оружия, произведённый в ряде источников [2-4], характеризует деятельность стрелка в виде противодействия трем силам в пяти точках в вертикальной плоскости и удержании автомата в горизонтальной плоскости дополнительно в двух точках (рис. 4). К основным факторам, влияющим на точность выполнения стрельбы из автомата АК-74, следует отнести силы и моменты, возникающие при выстреле (табл. 1).

Таблица 1

Силы и моменты, возникающие при выстреле

№	Фактор	Сущность процесса
1	Сила отдачи (импульс) и момент поворота автомата возникающий от несовпадения оси канала ствола с точкой опоры приклада в плечо. Увод ствола вправо у правой и влево у левой	 <p>Сила отдачи</p>
2	Сила проворачивания автомата вокруг центра его масс, возникающая при ударе затворной рамы в заднем крайнем положении	 <p>сила проворачивания</p> <p>центр масс автомата</p> <p>сила проворачивания</p>
3	Сила, возникающая при экстракции гильзы и уводящая ствол автомата влево-вверх (заднюю часть приклада влево-вниз)	 <p>сила возникающая при экстракции гильзы</p>

С учётом сил, возникающих при выстреле, специфики деятельности стрелка и выбранной психолого-педагогической концепции схемы ориентировочной основы действий (ООД) для привития основных навыков, необходимых для выполнения стрельбы из средств ближнего боя, следующие:

- схема ООД для правильного прицеливания;
- схема ООД для правильного удерживания (хвата) оружия;

- схема ООД для правильного нажатия на спусковой крючок;
- схема ООД для правильного выбора точки упреждения;
- схема ООД для правильной фиксации корпуса стрелка;
- схема ООД для правильной установки прицельной планки;
- схема ООД для правильного заряжания.



Рис. 4. Схема имитатора с датчиками контроля навыков стрелка:
1 - пистолетная рукоятка с упругоподвижной планкой; 2 - контактный выключатель электронного устройства индикации; 3 - планка усилия нажима щеки на приклад; 4 - планка усилия нажатия в плечо; 5 - спусковой крючок; 6 - трехцветный индикатор; 7 - прицельные приспособления; 8 - винт регулировки фиксатора усилия, оказываемого щекой стрелка на гребень приклада; 9 - винт регулировки фиксатора усилия, оказываемого на планку пистолетной рукоятки; 10 - винт регулировки фиксатора усилия, оказываемого прикладом на плечо стрелка; 11 - цевье

Схема существующего процесса обучения стрелков с применением стрелкового тренажёра заключается в предъявлении задач в соответствии с курсом боевой подготовки и оценивании результатов их выполнения (рис. 5).

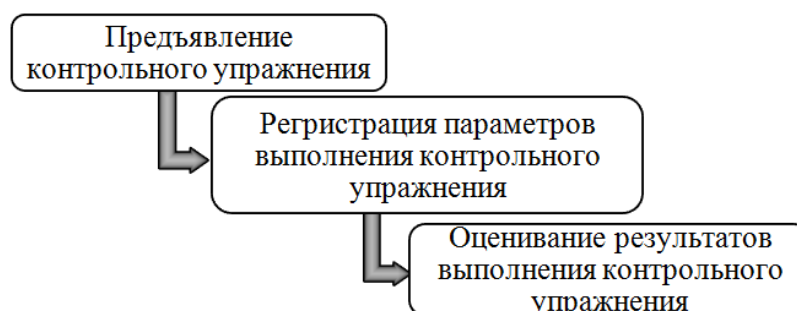


Рис. 5. Схема процесса обучения в штатном режиме

Для создания интеллектуальной (адаптивной) тренажёрной системы, корректирующей навык стрелка в процессе обучения, необходимо интегрировать в состав учебно-информационной модели тренажёра режим “Тренировка”, реализуемый помощью модуля формирования корректирующего сценария, и разработать учебно-тренировочные задачи в соответствии с представленными выше схемами ООД (рис. 6).



Рис. 6. Схема процесса обучения в режиме “Тренировка”

Учебно-информационная модель адаптивного тренажёра стрелкового оружия предполагает обучение в двух режимах:

- режим выполнения учебных нормативов;
- режим “Тренировка”.

Результаты анализа ряда источников [10, 11] свидетельствуют о том, что деятельность «стрельба из огнестрельного оружия» требует у исполнителя наличия совокупности навыков.

Произведём классификацию навыков стрелка для формирования модели предметной области адаптивной тренажёрной системы (табл. 2).

Таблица 2

Структура навыков обучаемого при стрельбе из стрелкового оружия ближнего боя

Навыки обучающегося стрельбе из стрелкового оружия			
Тип мишеней			
Неподвижные		Подвижные	
1	Правильность прицеливания	1	Правильность прицеливания
2	Правильность хвата оружия	2	Правильность хвата оружия
3	Правильность обработки спускового механизма	3	Правильность обработки спускового механизма
4	Правильность фиксации корпуса стрелка	4	Правильность фиксации корпуса стрелка
5	Правильность установки прицельных приспособлений	5	Правильность установки прицельных приспособлений
6		6	Правильность выбора точки упреждения
Цель деятельности – поражение мишеней			

Для обеспечения функционирования процесса обучения в режиме “Тренировка” с адаптацией обучаемого в тренажёрной системе необходимо представить знания о деятельности стрелка в виде модели предметной области, созданной на основе фреймовой семантической сети.

Чтобы построить такую фреймовую семантическую сеть представим свойства каждого навыка стрелка с помощью единиц учебной информации, и зададим отношения значимости на единицах учебной информации.

Тогда задачу, предполагающую адаптирующее воздействие для обучаемого, возможно решить несколькими способами:

- выбор альтернативной учебно-тренировочной задачи, отвечающей заданным критериям;

- предъявлением фрагмента информации из определённого ранее множества информационных единиц фреймовой семантической сети с учётом критериев эффективности.

В качестве критериев эффективности целесообразно выбрать следующее:

- значение параметров учебно-тренировочной задачи на данном шаге обучения (выбор альтернативной УТЗ из репозитория);

- количественный и качественный состав задач для контроля знаний (формирование множества контрольных заданий);

- количество информации адаптации (формирование множества единиц учебной информации для адаптации).

Основываясь на данных табл. 2, обозначим процесс взаимодействия обучаемого с адаптивной тренажёрной системой схемой (рис. 7).

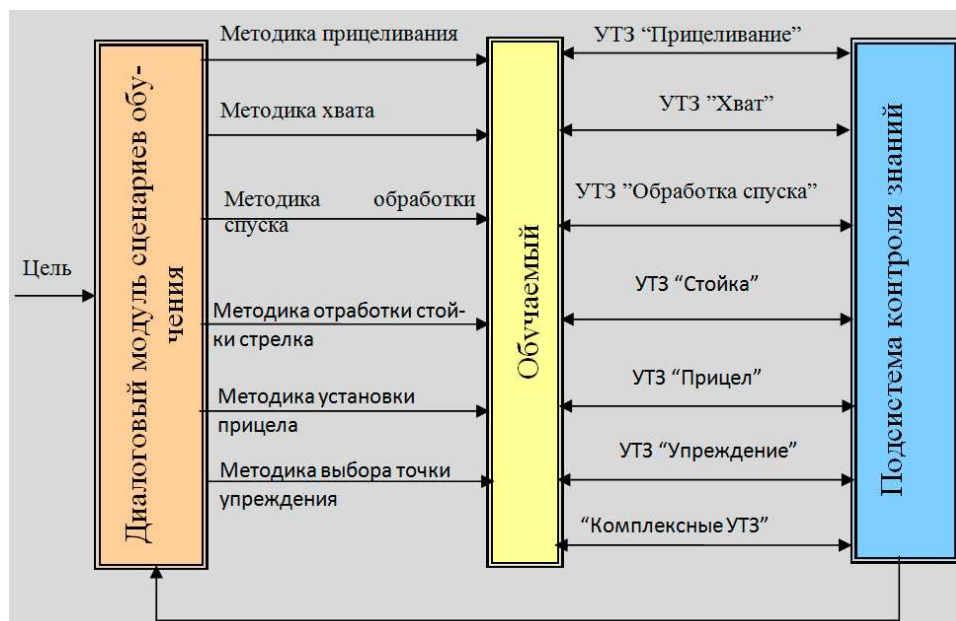


Рис. 7. Схема основных процессов деятельности стрелка при обучении стрельбе из стрелкового оружия

Разработанный на такой основе тренажёр позволит повысить эффективность процесса обучения стрельбе из стрелкового оружия за счёт сокращения времени на выполнение контрольных заданий.

Список литературы

1. Талызина Н.Ф. Пути разработки профиля специалиста. Саратов: СГУ, 1987. 176 с.
2. Весь мир полигон. [Электронная версия] URL: <http://defence.ru/article/1313/> (дата обращения: 20.09.2017).
3. Интернет сайт BISim [Электронная версия]. URL: www.bisimulations.com (дата обращения: 20.09.2017).
4. Интернет сайт фирмы Comtrol [Электронная версия]. URL: www.comtrol.com (дата обращения: 20.09.2017).
5. Интернет сайт фирмы Lockheed Martin [Электронная версия]. URL: www.lockheedmartin.com (дата обращения: 20.09.2017).
6. Электронная версия издания Military training International (США). [Электронная версия]. URL: www.defence-house.com (дата обращения: 20.09.2017).
7. Москаленко Ю.С. Представление и обработка знаний в обучающих системах: учеб. пособие. Владивосток: Из-во ДВГТУ, 2000. 125 с.
8. Рыбина Г.В. Основы построения интеллектуальных систем: учебное пособие. М.: Финансы и статистика ИНФРА, 2010. 432 с.
9. Башмаков А.И., Башмаков И.А. Интеллектуальные информационные технологии: учебное пособие. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. 304 с.
10. Пуллэм Б., Фрэнк Т. Хейненкрат. Спортивная стрельба из винтовки. Руководство для стрелков и тренеров. [Электронная версия]. URL: http://www.shooting-ua.com/books/book_29.1.htm (дата обращения: 20.09.2017).
11. Рыбин А.И. Руководство по стрельбе из охотничьего ружья. М.: Физкультура и спорт, 1982. 46 с.

Привалов Александр Николаевич, д-р техн. наук, проф., privalov.61@mail.ru, Россия, Тула, Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого,

Кулешов Владимир Львович, ведущий специалист, stn5@yandex.ru, Россия, Тула, АО "Центральное конструкторское бюро аппаратостроения"

ON THE APPROACH TO DESIGNING THE ADAPTIVE TRAINING SYSTEM OF SMALL ARMS

A.N. Privalov, V.L. Kuleshov

The principles of building educational and training facilities for training specialists are considered. Based on the generalized structure of the simulator training system, a structural diagram of the adaptive simulator system is proposed. The stages of the development of

an intelligent (adaptive) simulator system are analyzed. In the concept of learning with the use of an adaptive simulator system, it is advisable to apply the theory of programmed instruction.

Key words: structural-functional scheme, adaptive training system, the concept of programmed learning.

Privalov Aleksandr Nicolaevich, doctor of technical science, professor, privalov.61@mail.ru, Russia, Tula, Tula State Pedagogical University,

Kuleshov Vladimir Lvovich, Leading Specialist, stn5@yandex.ru, Russia, Tula, JSC Central Design Bureau of Instrument Engineering

УДК 519.6

О ПРОГРАММНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ МЕТОДА СПЕКТРАЛЬНОГО ОБОЛОЧЕЧНОГО КОНЕЧНОГО ЭЛЕМЕНТА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ

К.А. Петровский, А.Н. Привалов

Рассмотрено применение треугольного спектрального конечного элемента для численного решения динамической задачи об определении напряженно деформированного состояния оболочечной конструкции при зависящей от времени нагрузке. Учет влияния сдвиговых деформаций, изменение толщины оболочки происходят за счет использования 7-параметрической модели оболочечных элементов. Приводятся результаты решения задачи для иллюстрации возможностей элемента.

Ключевые слова: программный код, распараллеливание вычислений, метод конечных элементов, спектральный элемент, математическая модель, 7-параметрическая формулировка.

Разработка процедур численного анализа оболочечных конструкций представляет, несомненно, одну из самых сложных задач исследования конечных элементов. Крупной и важной прикладной областью для анализа оболочек являются системы CAD/CAE [1].

В последние десятилетия разработка эффективных вычислительных моделей для нелинейного анализа оболочек была одним из важнейших направлений в исследованиях. Частично это связано с необходимостью численного анализа новых материалов, таких как композитные и функционально градуированные оболочки, так как разработка новых конструктивных материалов требует создания адекватных математических моделей

и расчетных комплексов на их основе для корректной численной оценки прочностных характеристик элементов конструкций из этих материалов [2]. В частности, оболочки из ламинированных композитов по-прежнему представляют большой интерес во многих инженерных приложениях. Некоторые математические модели исследуемых задач о напряженно-деформированном состоянии конструкций учитывают большие упругие деформации и конечные вращения, поскольку геометрическая нелинейность играет существенную роль в поведении оболочки. Также важны и эффективные и надежные процедуры для численного моделирования оболочечных структур, поскольку небольшие изменения в геометрии и нагрузке оболочек могут привести к большим изменениям в механическом отклике. Таким образом, выбор подходящей математической модели вместе с последовательной и надежной вычислительной процедурой, которая может точно представлять нелинейные деформации и напряжения в оболочечных структурах, имеет большое значение [3].

В последние годы значительное внимание уделяется формулировкам конечных элементов оболочек, которые могут быть использованы с немодифицированными полностью трехмерными определяющими соотношениями. Мотивацией для разработки этих математических моделей является желание обойти многие проблемы, связанные с включением предположения о плоском напряженном состоянии. Такие формулировки учитывают растяжение по толщине и обеспечивают разумные представления всех компонентов напряжённого состояния с учетом его неоднородности по толщине для тонких и толстых оболочечных структур. Эти модели обычно называют 7-параметрическими формулировками, так как они включают в себя семь независимых параметров в кинематическом описании. В 7-параметрической модели выражение, аппроксимирующее перемещение вдоль направляющего вектора, расширяется до квадратичного члена, что существенно ослабляет блокировку Пуассона при принятии трехмерных определяющих соотношений.

Для многих математических моделей задач механики деформируемого твердого тела конечно-элементные процедуры высокого порядка предлагают множество теоретических и практических преимуществ по сравнению с конечно-элементными методами низкого порядка, которые в течение последних нескольких десятилетий стали преобладать в научных исследованиях и коммерческом программном обеспечении. В частности, можно избежать различных форм заклинивания, которые без подходящей стабилизации часто портят конечно-элементные модели в слабой формулировке метода Галеркина для математических моделей упругих и неупругих твердых тел.

Множество недостатков, с которыми можно столкнуться в конечно-элементной модели на основе принципа безусловной минимизации, можно в значительной степени обойти или полностью избежать использованием

достаточно адекватного полинома порядка p при создании конечно-элементной аппроксимации u_{hp} внутри каждого элемента. В частности, могут быть получены эффективные конечно-элементные процедуры, не требующие использования сложных специализированных приемов, которые часто требуются при конечно-элементной формулировке низкого порядка для повышения точности численного решения. В результате возможно использование формул полного интегрирования, а функциональное пространство конечного элемента высокого порядка избегает любых несогласованностей, свойственных аппроксимации низкого порядка, которые часто приводят к заклиниванию.

Метод спектральных элементов (МСЭ) был впервые опубликован Патера в контексте динамики флюидов. Идея, которая привела к ее развитию, заключалась в том, чтобы объединить преимущества псевдоспектрального метода с преимуществами МКЭ, то есть точность и быстрая сходимость первого и геометрическая гибкость последнего. Название было выведено из того факта, что МСЭ имеет такое же поведение экспоненциальной сходимости, что и ПСМ, когда порядок интерполирующих многочленов N стремится к бесконечности.

Одной из основных трудностей, связанных с МСЭ, является то, что бывает очень сложно разбить сетку только на четырехугольники в 2-D или гексаэдры в 3-D. В этом отношении классический МКЭ, основанный на треугольниках в 2-D и на тетраэдрах в 3-D, является гораздо более гибким. Существующие спектральные элементы высокого порядка основаны на иерархическом подходе и применяются к четырехугольной, а не к треугольной форме. Причина в том, что четырехугольная форма позволяет обеспечить простую реализацию функций формы и численного интегрирования в МКЭ. Однако четырехугольный элемент имеет некоторые недостатки. Например, он не может хорошо моделировать оболочечные конструкции произвольной формы (особенно с острыми углами), что затрудняет построение простой конечно элементной сетки. Треугольные элементы более приспособлены для построения сеток сложных форм оболочек.

Естественным расширением метода спектральных элементов с диагональной матрицей масс до треугольников было бы использование точек GLL в каждом треугольнике. К сожалению, в общем случае неизвестно, существуют ли такие точки, и если да, то их построение численно оказывается чрезвычайно трудной задачей. Альтернативой точкам GLL в треугольнике является выбор точек, оптимизированных для их свойств интерполяции и аппроксимации, а не квадратуры. Недавние работы в этой области включают в себя в частности точки Фекете. Они точно соответствуют точкам GLL на сторонах треугольника. Поэтому можно построить смешанные неструктурированные сетки, состоящие из четырехугольников и треугольников, в которых точно совпадают точки на краях обоих типов элементов.

Таким образом, высокая гибкость может быть достигнута на этапе генерации сетки для сложных структур, что уменьшает трудности создания сетки только на основе четырехугольников. Так как все точки совпадают по общему краю между четырехугольником и треугольником, и поскольку для аппроксимации на обоих элементах используется одна и та же полиномиальная степень, непрерывность поля обеспечивается всюду на общем ребре. Поэтому вклады в глобальную систему, рассчитанные отдельно для обоих элементов, могут быть собраны таким же образом, как и в МКЭ. Глобальная матрица масс для смешанной сетки остается диагональной, поскольку матрицы масс элементов диагональны для обоих типов элементов. Таким образом, сохраняется очень эффективная структура классических решателей спектральных элементов, в частности высокая эффективность на параллельных компьютерах, а новый тип элементов легко внедряется в существующий решатель спектральных элементов. Основное различие у треугольных элементов, состоит в том, что на треугольнике теряется тензоризация классических четырехугольных спектральных элементов, поэтому количество арифметических операций вычисления производной по треугольнику равно $(N+1)(N+2)-1$, тогда как по четырехугольнику только $2N+1$. Таким образом, с точки зрения вычислений для больших N треугольники «дороже» четырехугольников в соотношении $R = ((N+1)(N+2)-1) / (2N+1) \cdot N/2$.

Рассмотрим движение оболочечного элемента из начального состояния ${}^0\bar{\mathbf{B}}^e$ в текущее состояние ${}^t\bar{\mathbf{B}}^e$. На рис. 1 представлен случай движения при конечных перемещениях и поворотах. Для трехмерной геометрии оболочечного элемента ${}^0\bar{\mathbf{B}}^e$ в начальном состоянии при толщине 0h положение частицы внутри элемента определяется как

$${}^0\mathbf{x} = \Phi^e(\xi^1, \xi^2, \xi^3) = \sum_{k=1}^N \phi_k(\xi^1, \xi^2) \left(\mathbf{X}^k + \xi^3 \frac{h}{2} \mathbf{V}_n^k \right),$$

где $\xi^3 \in [-1; 1]$.

Деформированная геометрия в момент времени t будет иметь вид [4]

$${}^t\mathbf{x} = {}^t\mathbf{X} + \frac{\xi^3}{2} {}^th^t \mathbf{V}_n + (\xi^3)^2 {}^0h^t Q_n {}^t\mathbf{V}_n,$$

где ${}^t\mathbf{V}_n$ - направляющий вектор в момент времени t ; th - толщина элемента в момент времени t ; tQ_n - степень свободы, отвечающая за квадратичную функцию перемещения в направлении ${}^t\mathbf{V}_n$.

Тогда приращение перемещения записывается следующей формулой:

$$\mathbf{u} = {}^{t+\Delta t}\mathbf{x} - {}^t\mathbf{x} = \left({}^{t+\Delta t}\mathbf{X} - {}^t\mathbf{X} \right) + \frac{\xi^3}{2} \left({}^{t+\Delta t}h {}^{t+\Delta t}\mathbf{V}_n - {}^th {}^t\mathbf{V}_n \right) + \left(\xi^3 \right)^2 {}^0h \left({}^{t+\Delta t}Q_n {}^{t+\Delta t}\mathbf{V}_n - {}^tQ_n {}^t\mathbf{V}_n \right) \quad (1)$$

Поле приращений перемещений (1) может быть выражено в терминах степеней свободы в момент времени t с помощью следующих формул:

$${}^{t+\Delta t}\mathbf{X} - {}^t\mathbf{X} = \mathbf{u}_M = u\mathbf{E}_1 + v\mathbf{E}_2 + w\mathbf{E}_3, \quad (2)$$

$${}^{t+\Delta t}h - {}^th = {}^0h \cdot \Delta h, \quad (3)$$

$${}^{t+\Delta t}Q_n - {}^tQ_n = q_n, \quad (4)$$

$${}^{t+\Delta t}h {}^{t+\Delta t}\mathbf{V}_n - {}^th {}^t\mathbf{V}_n = \left({}^th + {}^0h \cdot \Delta h \right) \left[{}^{t+\Delta t}R \right] {}^t\mathbf{V}_n - {}^th {}^t\mathbf{V}_n = \left[{}^0h \cdot \Delta h [I_3] + \left({}^th + {}^0h \cdot \Delta h \right) \left(\frac{\sin(\theta^k)}{\theta^k} [\Theta^k] + \frac{1 - \cos(\theta^k)}{(\theta^k)^2} [\Theta^k]^2 \right) \right] {}^t\mathbf{V}_n, \quad (5)$$

$${}^{t+\Delta t}Q_n {}^{t+\Delta t}\mathbf{V}_n - {}^tQ_n {}^t\mathbf{V}_n = \left({}^tQ_n + q_n \right) \left[{}^{t+\Delta t}R \right] {}^t\mathbf{V}_n - {}^tQ_n {}^t\mathbf{V}_n = \left[q_n [I_3] + \left({}^tQ_n + q_n \right) \left(\frac{\sin(\theta^k)}{\theta^k} [\Theta^k] + \frac{1 - \cos(\theta^k)}{(\theta^k)^2} [\Theta^k]^2 \right) \right] {}^t\mathbf{V}_n, \quad (6)$$

где $\theta^k = \sqrt{\alpha_k^2 + \beta_k^2}$,

$$[\Theta^k] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \beta_k \\ 0 & 0 & -\alpha_k \\ -\beta_k & \alpha_k & 0 \end{bmatrix},$$

где α_k, β_k - приращение поворотов вокруг векторов ${}^t\mathbf{V}_1^k$ и ${}^t\mathbf{V}_2^k$ соответственно.

Здесь (2) представляет собой три перемещения в глобальной Декартовой системе координат, (3) описывает изменение толщины, а (4) – приращения квадратичных перемещений. Формулы (5) - (6) представляют собой модификацию численных методов Симо и Фокса [5] описания интерполяции направляющего вектора конечного оболочечного элемента для использования со спектральными интерполяционными функциями.

Система обыкновенных дифференциальных уравнений, описывающая эволюцию глобальной системы во времени, записывается как [6]

$$[M] \ddot{\mathbf{u}} + [C] \dot{\mathbf{u}} + [K] \mathbf{u} = \{F\},$$

где $[M]$ – глобальная матрица масс; $[C]$ – глобальная матрица демпфирования; $[K]$ – глобальная матрица жесткости; $\{F\}$ – глобальный вектор нагрузок.

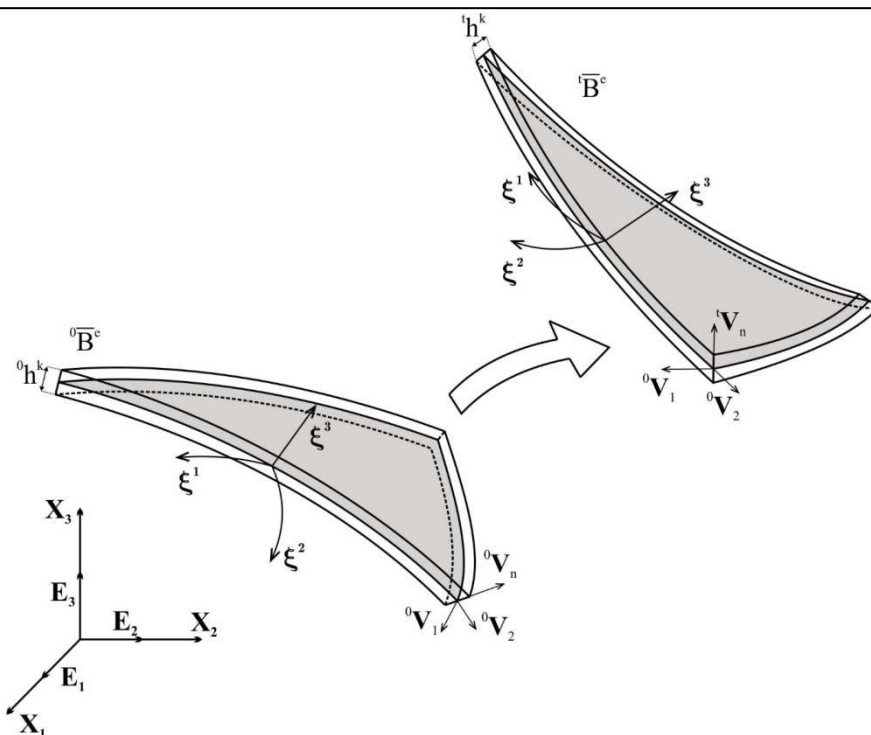


Рис. 1. Оболочечный элемент при конечных перемещениях и поворотах

Некоторые методы программной реализации рассматриваемой задачи могут быть легко включены в параллельную вычислительную среду на основе OpenMP. OpenMP - это интерфейс прикладного программирования (API), который поддерживает многопоточность на компьютерных архитектурах, которые допускают многопроцессорность с общей памятью. Эта форма распараллеливания может использоваться на стандартном персональном компьютере, обладающем несколькими ядрами, или на одном узле суперкомпьютера.

Основой процесса адаптации программного кода метода конечных элементов для эффективного параллельного выполнения в системах с общей памятью является способность собирать глобальную разреженную матрицу коэффициентов быстро, эффективно и в форме, которая подходит для связи с современными библиотеками решателей разреженных матриц, таких как PARDISO, MUMPS и др.

Наиболее распространенным способом хранения несимметричных матриц произвольной структуры является CSR (Compressed Sparse Row — сжатие разреженных строк). В нем разреженная матрица хранится с использованием следующих массивов:

- data, который содержит все ненулевые элементы матрицы, перечисленные в порядке следования строк;
- indices, содержащий столько же элементов, сколько data, с указанием для каждого из них, в каком столбце находится данный элемент;

- ptr, который хранит число элементов, равное увеличенной на единицу размерности СЛАУ. Его i -й элемент указывает, с какой позиции в массивах data и indices начинается i -я строка матрицы. Последний элемент ptr равен числу элементов в data, увеличенному на 1.

До глобальной сборки уравнения для определенного конечного элемента не зависят от уравнений, связанных с любым другим элементом. В результате операции построения и применения граничных условий к матрицам элемента $[K^e]$, $[M^e]$, $[C^e]$ и $\{F^e\}$ могут быть легко выполнены в параллельной вычислительной среде. Укрупненный алгоритм распараллеливания рассматриваемой модели конечных элементов состоит из следующих основных шагов:

1. Цикл по всем элементам $e = 1, \dots, N^e$ (параллельно),
 - построение $[K^e]$, $[M^e]$, $[C^e]$ и $\{F^e\}$,
 - добавление локальных матриц в глобальные $[K]$, $[C]$, $[M]$,
 - добавление локального вектора нагрузок в глобальный вектор $\{F\}$,
 - применение граничных условий.
2. Сжатие глобальных матриц $[K]$, $[C]$, $[M]$ в формат CSR (параллельно).
3. Решение глобальной системы уравнений используя соответствующую библиотеку решателей.

Эти шаги применимы к любой программной реализации метода конечных элементов независимо от того, является ли модель линейной или нелинейной.

Рассмотрим применение треугольного спектрального конечного элемента для численного решения динамической задачи об определении напряженно деформированного состояния оболочечной конструкции при зависящей от времени нагрузке. Модель, представленная на рис. 2, представляет собой пластину с закрепленными на ней пятью коробками. Угловые узлы пластины соединены с помощью жестких балок с центральным узлом, отстоящим от пластины на 0.2 м. Конечно-элементная сетка представляет собой 770 треугольных спектральных оболочечных элемента 4-го порядка.

Размеры пластины 1.5x2.5 м, толщина 0.005 м. Сечение балок – круг радиуса 0.05 м.

Материал пластины: $E = 10^{12}$ Па, $\nu = 0.3$, $\rho = 700$ кг/м³. Материал коробок: $E = 2 \cdot 10^{11}$ Па, $\nu = 0.3$, $\rho = 400$ кг/м³. Материал балок: $E = 2 \cdot 10^{15}$ Па, $\nu = 0.3$, $\rho = 10^{-10}$ кг/м³.

Ускорение, заданное таблично, прикладывается к центральному узлу. График ускорения показан на рис. 3.

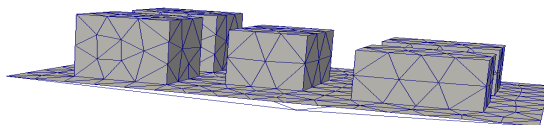


Рис. 2. Геометрия задачи с сеткой из спектральных элементов

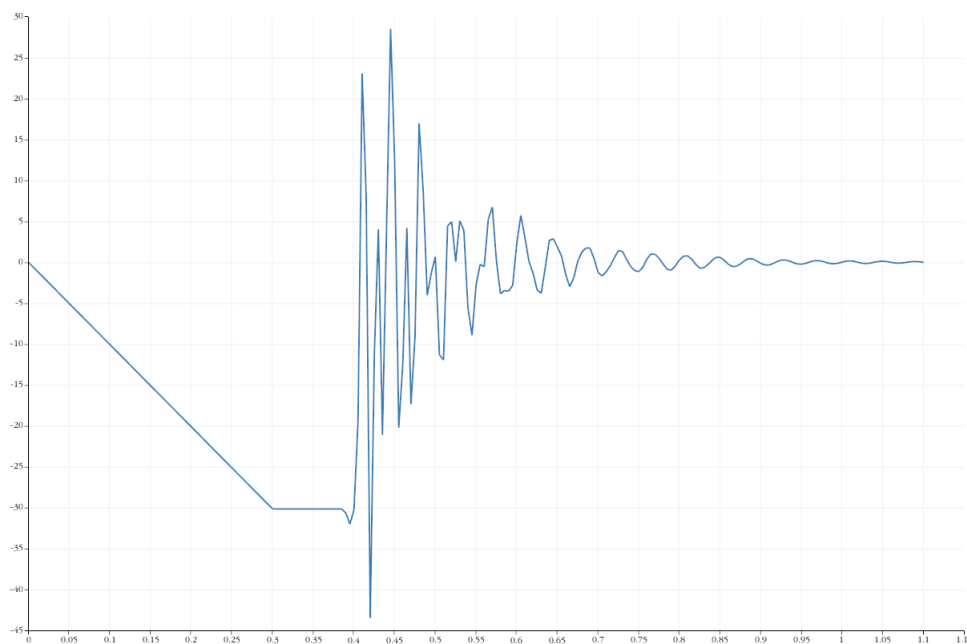


Рис. 3. График задания ускорения в зависимости от времени

Расчет проводился в пакете прочностного анализа «Fidesys». На рис. 4 показаны перемещения центрального узла вдоль оси z .

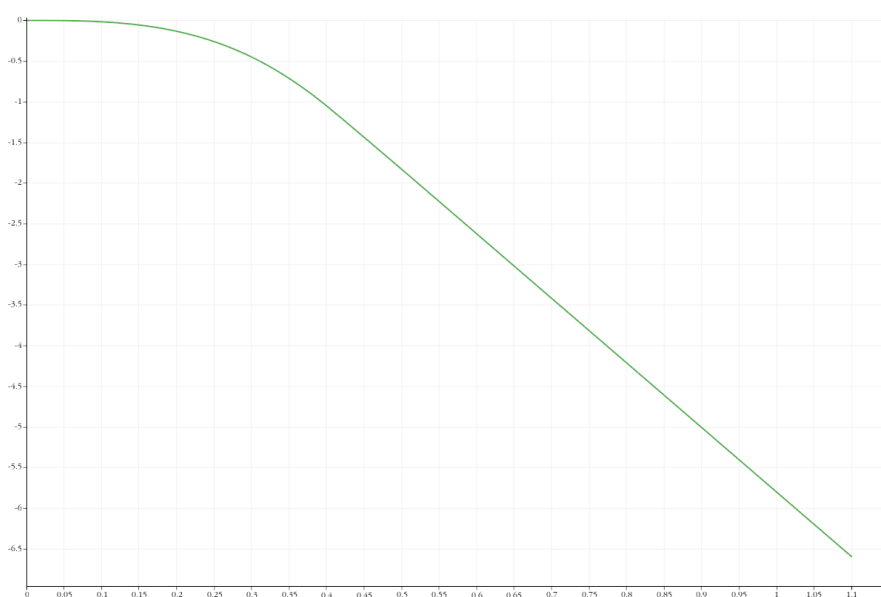


Рис. 4. Перемещения центрального узла вдоль оси z

Полученные графики перемещений центрального узла и некоторых узлов коробок совпадают с расчетом в пакете Ansys с использованием 6000 конечных элементов 1-го порядка.

Использование спектрального элемента высокого порядка позволяет сократить количество элементов в расчетной задаче без потери качества расчета. При этом время на расчет затрачивается меньше за счет того, что программная реализация спектрального элемента лучше распараллеливается, а матрица масс получается диагональной.

Список литературы

1. Морозов Е.М., Левин В.А., Вершинин А.В. Прочностной анализ: Фидесис в руках инженера. М.: ЛЕНАНД, 2015. 408 с.

2. Petrovskiy K.A., Vershinin A.V., Levin V.A. Application of spectral elements method to calculation of stress-strain state of anisotropic laminated shells // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2016. Vol. 158. P. 012077.

3. Левин В.А. Нелинейная вычислительная механика прочности. Том 1. Модели и методы. Образование и развитие дефектов / под ред. В.А. Левина. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2014. 452 с.

4. Петровский К.А., Коновалов Д.А. Математическое моделирование напряженно-деформированного состояния оболочечной конструкции при конечных деформациях с учетом изменения толщины оболочечного элемента // XI Всероссийский съезд по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики. Аннотации докладов. Казань: Издательство Академии наук РТ. 2015. С. 222.

5. Simo J.C., Fox D.D., Rifai M.S. On a stress resultant geometrically exact shell model. Part III: Computational aspects of the nonlinear theory, Comput. Methods Appl. Mech. Eng. 79, 1990. P. 21–70.

6. Левин В.А., Вершинин А.В. Нелинейная вычислительная механика прочности. Том 2. Численные методы. Параллельные вычисления на ЭВМ / под общ. ред. Левина В.А. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2015. 544 с.

Петровский Константин Александрович, программист-алгоритмист 1 категории, constantine.89@yandex.ru, Россия, Москва, ООО «Фидесис»,

Привалов Александр Николаевич, д-р техн. наук, проф., privalov.61@mail.ru, Россия, Тула, Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого

ON PROGRAM IMPLEMENTATION OF THE METHOD OF THE SPECTRAL SHELL-FINITE ELEMENT ELEMENT FOR THE SOLVING THE DYNAMIC PROBLEM

K.A. Petrovskiy, A.N. Privalov

The application of the triangular spectral finite element for the distributed solution of the dynamic stress-strain state determination problem of the shell structure for a time-dependent load is considered. The effect of shear deformations and the thickness of the shell are accounted for by using the 7-parameter model of shell elements. The results of solving the problem are presented to illustrate the possibilities of the element.

Key words: program code, parallelization of computations, finite element method, spectral element, mathematical model, 7-parameter formulation.

Petrovskiy Konstantin Aleksandrovich, programmer-algorithmist of the first category, constantine.89@yandex.ru, Russia, Moscow, LLC "Fidesys",

Privalov Aleksandr Nikolayevich, doctore of technical sciences, professor, privalov.61@mail.ru, Russia, Tula, Tula State Lev Tolstoy Pedagogical University

УДК 004.056.55

ПРИМЕНЕНИЯ ОТКАЗОУСТОЙЧИВЫХ СИСТЕМ И РЕЗЕРВНОГО КОПИРОВАНИЯ НА ПОЛИГРАФИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Т.А. Афанасьев, А.Н. Линдигрин, Б.С. Яковлев

Проанализированы отказоустойчивые цифровые системы хранения данных, а также методы резервного копирования, даны рекомендации по их внедрению на полиграфических предприятиях.

Ключевые слова: резервное копирование, хранение данных, цифровая отказоустойчивая система.

В современных реалиях в сфере полиграфии выделяют три этапа создания продукции: допечатный, печатный и послепечатный процессы.

Допечатный процесс сегодня является самым важным и сложным - подготовительным этапом создания полиграфической продукции. Это связано с тем что он почти полностью стал цифровым. Это позволило легче контролировать цвета в изображениях, относительно точно знать реальный цвет после печати, и сильно упростить подготовку книжной продукции.

Также с учетом развития цифровых технологий в полиграфии за последние 7 лет произошли серьезные изменения, которые коснулись самого процесса печати, прежде всего из-за внедрения цифровых печатных машин и кардинально нового подхода приема-выдачи итоговой продукции.

Цифровые печатные машины повысили качество печати, именно это стало основной причиной перехода издательств на цифровой способ печати для малых и даже средних тиражей полиграфической продукции.

Кроме того, параллельно с развитием стандартных процессов в издательском деле происходил активный поиск новых форм приема заказов от потенциальных заказчиков. В итоге это привело к появлению технологии «печати по требованию». Ее суть заключается в автоматическом процессе печати продукции после ее оплаты, поступившей от пользователя с сайта издательства.

Процесс «печати по требованию» можно проиллюстрировать на примере создания визиток. Пользователь заходит на сайт, выбирает шаблон продукции, выбирает цвет фона, заносит в текстовые поля необходимые данные для формирования информационной составляющей визитки и прикладывает логотип фирмы. Затем через сайт происходит оплата данной услуги, после чего сервером создается конечный, сверстаный вариант листа с визитками и отправляется автоматически на печать, затем обрезку и упаковку. Стоит отметить, что при этом участвует минимальное количество персонала, задача которого сводится к обеспечению стабильной работы оборудования.

Тенденция внедрения все более продвинутых цифровых технологий в издательский процесс неизбежен, но ставит перед предприятиями ранее не свойственные им требования и задачи. Прежде всего это связано с тем, что цифровые технологии напрямую связаны с ЭВМ, локальными сетями, серверными технологиями, средой Интернет и безопасностью цифровых данных.

Известно, что по статистике происходит увеличение запросов с предприятий на IT специалистов в отрасль. В большей степени это связано с автоматизацией процесса печати, но в 2016 году произошел скачок в вакансиях и, на наш взгляд это связано частично с вирусами, которые стали более вредоносными.

Конкуренция, политическая обстановка в мире и малая образованность персонала в области защиты информации могут привести к заражению такими вирусами как трояны или «вирусы-шифровальщики». По итогу их работы предприятие может надолго остановить свою работу до тех пор пока не восстановит все данные.

Ситуация с вирусами, шифрующими информацию, особо опасна, т.к. подбор пароля будет слишком долгим из-за его длины и в 90 % не обосновано и без перспективно. К сожалению, это реальная ситуация, начиная с 2016 года.

Из-за этих причин полиграфическим предприятиям следует как можно быстрее разработать процедуры, которые могли бы помочь минимизировать или полностью исключить потерю данных в случае внештатных ситуаций.

Наиболее успешными реализациями подхода создания резервных копий являются две: написанные самостоятельно, исполняемые скриптовые сценарии (CMD, BAT); программное обеспечение Handy Backup Professional.

Сценарии позволят бесплатно создавать копии каталогов и файлов, с их помощью можно создать очень гибкую систему резервного копирования, подходящую для поставленных задач, фактически любой сложности. Но минусом данного подхода является самобытность кода, сложность написания, необходимость в очень квалифицированном администраторе сети, который понимает и умеет писать сценарии. Также минусом может стать тот факт, что сценарии необходимо запускать в планировщике заданий и это может вызвать появление неактуальных на сегодня резервных копий, т.е. устаревших по времени создания.

У Handy Backup Professional есть несколько неоспоримых преимуществ: данное решение уже готово к использованию; оно адаптировано под пользователей любого уровня подготовки; её функционал невероятно широк, он не ограничивается простым копированием данных [1]. С ее помощью можно делать копии в том числе на облачные сервисы, что резко повысит шансы на восстановление данных; она умеет создавать образ логических дисков в удобном формате виртуального диска VHD.

Отрицательными моментами у данной программы являются - цена, наличие модулей, которые не входят в состав базовой версии программного обеспечения, но необходимых для полноценного процесса резервного копирования.

В процессе проектирования систем безопасности, также стоит обратить внимание на саму технологию, обеспечивающую отказоустойчивость. Этого может добиться единственная технология - RAID. Это создание виртуального пространства на которое будет записана информация. Стоит принимать в расчет то обстоятельство, что RAID - это именно виртуальная система. В зависимости от того какого она уровня, будет зависеть в каком порядке и где будут записываться файлы на жестких дисках.

RAID может быть создан программным, аппаратным или псевдо-аппаратным способом из одинаковых по объему жестких дисков. Наиболее качественными считаются программный и аппаратный, причем все больше специалистов опасаются применять аппаратный рейд, т.к. в этом случае функционирование, восстановление RAID зависит только от аппаратуры и нельзя дать гарантии что она не пересоздаст RAID на тех же дисках, из-за чего может произойти полная потеря данных.

Известно что RAID массивы разделяются по уровням от 0 до 15. Чаще всего используют следующие технологии:

1. RAID-0 - это объединение 2-х и более жестких дисков в одно пространство, при этом объемы дисков складываются (рис. 1).

2. RAID-1 - это так называемый RAID «зеркало», он создается из 2 и более жестких дисков, при этом объем будет равен объему одного жесткого диска. Второй жесткий диск в этом случае, является полной копией первого (рис. 2).

3. RAID-5 - это наиболее востребованная технология, т.к она дает возможность не терять столько места как в варианте с RAID-1, при этом такая система значительно надежнее RAID-0. RAID-5 создается минимум из 3 жестких дисков (рис. 3), объем RAID в этом случае высчитывается по формуле: общий объем жестких дисков минус объем одного из них.

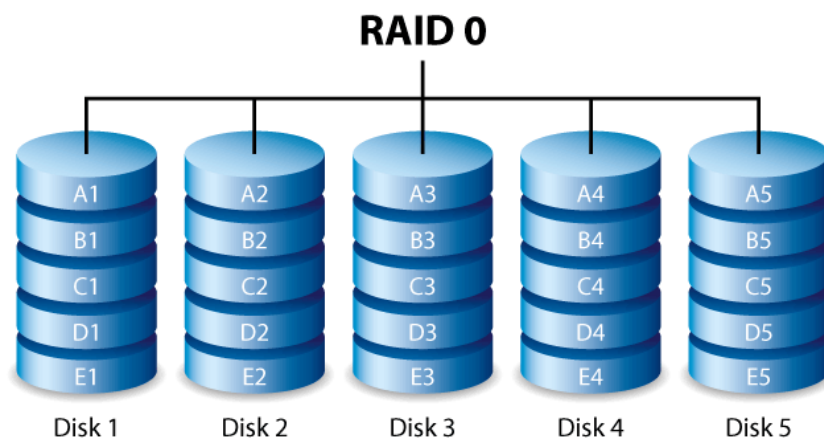


Рис. 1. Схема организации и работы технологии RAID-0

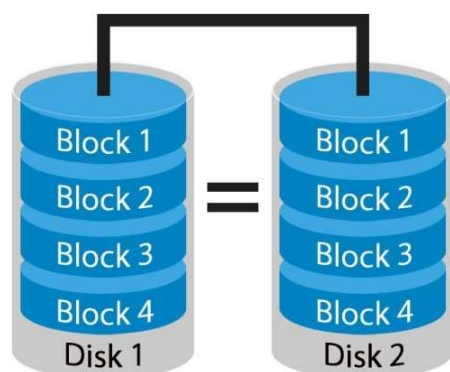


Рис. 2. Схема организации и работы технологии RAID-1

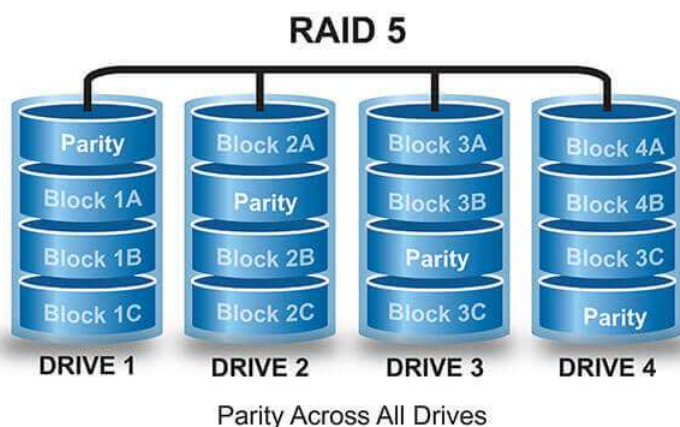


Рис. 3. Схема организации и работы технологии RAID-5

По итогу обзора можно сделать следующие выводы и дать рекомендации, которые помогут помочь в выборе или разработке системы резервного копирования:

1. Наиболее приемлемым и простым решением будет использование программного комплекса резервного копирования Handy Backup Professional с включенным режимом синхронизации с сетевыми хранилищами. Этот вариант является наиболее простым и быстрым по внедрению способом.

2. Классические программные продукты, применяющиеся для создания резервных копий не учитывают нестандартных потребностей. Поэтому для создания гибкой системы резервных копий целесообразно использовать стандартные утилиты операционных систем с поддержкой командных строк и наборы готовых сценариев CMD, BAT.

3. При проектировании систем резервного копирования необходимо помнить, что RAID-технология - это технология, обеспечивающая только высокую отказоустойчивость оборудования. При этом она не защитит от ошибок записи файлов на диск, или заражение, и не способна помочь в откате версий файлов. При этом наиболее надежной технологией является RAID-1.

Список литературы

1. Официальный сайт ПО Handy Backup // [Электронный ресурс] URL: <http://www.handybackup.ru> (дата обращения: 03.05.2017).

Афанасьев Тарас Андреевич, магистрант, afanasyevt@yandex.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет,

Линдигрин Александр Николаевич, магистрант, lindigrin2011@yandex.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет,

Яковлев Борис Сергеевич, канд. техн. наук, доц., bor_yak@mail.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет

USE OF FAILURE-SAFE SYSTEMS AND BACKUP AT THE PRINTING ENTERPRISES

T.A. Afanasyev, A.N. Lindigrin, B.S. Yakovlev

The failure-safe digital systems of data storage and also backup methods are analysed, recommendations about their introduction on a poly-grafichesskikh the enterprises are made.

Key words: backup, data storage, digital failure-safe system.

Afanasyev Taras Andreevich, undergraduate, afanasyevt@yandex.ru, Russia, Tula, Tula state university,

Lindigrin Alexander Nikolaevich, undergraduate, lindigrin2011@yandex.ru, Russia, Tula, Tula state university,

Yakovlev Boris Sergeevich, candidate of technical sciences, docent, bor_yak@mail.ru, Russia, Tula, Tula state university

УДК 681.518

МЕТОДИКА ВЫБОРА СТРУКТУРЫ И ПАРАМЕТРОВ ЛОКАЛЬНОЙ ПАМЯТИ ИНФОРМАЦИОННОЙ УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ

В.Л. Румянцев, С.М. Цыбин, М.Ю. Фомичев

Рассмотрен синтез алгоритмов работы микропроцессорного модуля по критерию минимума обращений к оперативной памяти вычислительного устройства. Осуществлен анализ вариантов загрузки двухуровневой оперативной памяти. Предложена методика перераспределения переменных между различными типами памяти, позволяющая сократить число обращений к внешнему оперативному запоминающему устройству. Предложен модифицированный формат представления чисел в форме с плавающей запятой, позволяющий сократить время выполнения арифметических операций.

Ключевые слова: микропроцессорные модули, информационные управляющие системы.

Средства обработки информации, принятия решений и формирования команд управления занимают центральное место и определяют специфику работы управляющей системы как единого целого. Эти средства представляют собой, как правило, совокупность вычислительных устройств различного функционального назначения, не связанных, слабо связанных, либо сильно связанных между собой и представляющих единую специализированную вычислительную систему. Вместо отдельных вычислительных устройств системы управления в настоящее время применяют вычислительные машины и системы [1-4].

В связи с постоянным усложнением задач, которые необходимо решать современным информационным управляющим системам, в качестве средств обработки информации все более полно будут использоваться управляющие вычислительные машины и системы машин, связанные между собой и составляющие, например, многомашинные комплексы, мультипроцессорные и, как наиболее перспективные, распределенные вычислительные системы. Применение на борту вычислительных систем, органически связанных между собой, должно обеспечить высокую эффективность функционирования объектов управления. Выбор структуры и параметров локальной памяти вычислительных средств системы управления заключается в определении такой структуры внутренней памяти и такого набора программ **П** решения задач, при которых удовлетворяются все ограничения на параметры многопроцессорной системы (МПС), а выбранный критерий оптимальности достигает своего экстремального значения. В этом случае предлагается методика выбора структуры и параметров памяти информационной управляющей системы, которая включает следующие шаги.

1. Выбирается критерий оптимальности – минимум суммарной емкости оперативного запоминающего устройства (ОЗУ) и постоянного запоминающего устройства (ПЗУ), требующейся для хранения программ и данных. Для этого вводятся булевы переменные x_{ij} :

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если алгоритм } L_i \in \tilde{L} \text{ обработки сигнала } c_i \in C \\ & \text{реализуется } j\text{-й программой;} \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

2. Формулируется задача выбора набора программ для реализации множества алгоритмов \tilde{L} для МПС, работающих в составе вычислительных средств информационной управляющей системы (ИУС), где время работы строго ограничено и каждой задаче $c_i \in C$ соответствует свой алгоритм решения $L_i \in \tilde{L}$, p -н, путем минимизации целевой функции

$$\Phi(x) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} (a_{ij} + h_{ij})x_{ij} : \quad (1)$$

при временных ограничениях на реализацию алгоритмов

$$\sum_{i \in C_1} \sum_{j=1}^{m_j} t_{ij} g_i x_{ij} \leq T_1; \quad \sum_{i \in C_1} \sum_{j=1}^{m_j} t_{ij} g_i x_{ij} + \sum_{i \in C_2} \sum_{j=1}^{m_i} t_{ij} g_i x_{ij} \leq T_2; \quad (2)$$

$$\sum_{l=1}^u \sum_{i \in C_l} \sum_{j=1}^{m_i} t_{ij} g_i x_{ij} \leq T_l;$$

при ограничениях на число ячеек СОЗУ и ОЗУ

$$\max_{L_i \in \tilde{L}} \left\{ \sum_{j=1}^{m_i} b_{ij} x_{ij} \right\} \leq B; \quad \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} h_{ij} x_{ij} \leq H; \quad (3)$$

при ограничениях на аддитивные параметры

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} r_{ijk} x_{ij} \leq R_k, k = \overline{1, q}; \quad (4)$$

при логических условиях существования единственной программы реализации каждого алгоритма

$$\sum_{j=1}^{m_i} x_{ij} = 1, i = \overline{1, n}. \quad (5)$$

Здесь t_{ij} – время решения алгоритма L_i j -м методом; g_i – относительная частота появления алгоритма в общей программе; R_k , B и H – ограничения на k -й ресурс, емкость сверхоперативного запоминающего устройства (СОЗУ) и ОЗУ соответственно; T_l – максимально допустимое время реализации задач, имеющих l -й приоритет. Задача (1)–(5) является задачей дискретного программирования с псевдобулевыми переменными.

3. Логические возможности q -й программы определяются в виде множества упорядоченных пар $\Pi^{(q)} = \{(i^{(q)}, j^{(q)})\}$, $i = \overline{1, p}$; $j = \overline{1, m_i}$, где $(i^{(q)}, j^{(q)})$ тогда q -я программа способна реализовать алгоритм $L_i \in \tilde{L}$ j -м способом.

4. Вводятся переменные y_q таким образом, чтобы

$$y_q = \begin{cases} 1, & \text{если } q\text{-я комплексная программа} \\ & \text{входит в состав системы программ;} \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

5. Для $\Pi = \{\Pi^{(1)}, \dots, \Pi^{(Q)}\}$ – множества комплексных программ, задачу оптимизации структуры локальной памяти можно записать в виде минимизации функционала

$$\Phi(x, y) = \sum_{i=1}^p \sum_{\substack{j=1 \\ (i,j) \notin \Pi}}^{m_i} (a_{ij} + h_{ij})x_{ij} + \sum_{q=1}^Q (a_q + h_q)y_q$$

при ограничениях:

– на число ячеек СОЗУ и ОЗУ

$$\max_{q \& (i,j) \notin \Pi} \left\{ \sum_{j=1}^{m_i} b_{ij}x_{ij}; b_q y_q \right\} \leq B; \quad \sum_{i=1}^p \sum_{\substack{j=1 \\ (i,j) \notin \Pi}}^{m_i} h_{ij}x_{ij} + \sum_{q=1}^Q h_q y_q \leq H; \quad (6)$$

– на аддитивные параметры

$$\sum_{i=1}^p \sum_{\substack{j=1 \\ (i,j) \notin \Pi}}^{m_i} r_{ijk}x_{ij} + \sum_{q=1}^Q r_{qk}y_q \leq R_k;$$

– на значения переменных

$$\sum_{(i,j) \notin \Pi^{(q)}} x_{ij} - M_q y_q \leq 0, q = \overline{1, Q}; \quad \sum_{j=1}^{m_i} x_{ij} + \sum_{q=1}^Q y_q \geq 1, y_q + z_q = 1; q = \overline{1, Q}.$$

Ограничения (6) показывают, что $x_{ij} = 0$ в тех случаях, когда имеется хотя бы одна пара $(i, j) \in \Pi^{(q)}$, $j = \overline{1, m_i}$ при $y_q = 1$; z_q являются псевдопеременными и позволяют сохранить задачу оптимизации ($z_q = 1$, когда $y_q = 0$); M_q – произвольное целое число, большее мощности множества $\Pi^{(q)}$.

Временные ограничения имеют вид

$$\sum_{l=1}^p \left[\sum_{\substack{i \in C_l \\ (i,j) \notin \Pi}} \sum_{j=1}^{m_i} t_{ij} g_i x_{ij} + \sum_{q \in C_l} t_q g_q y_q \right] \leq T_l,$$

где Q_q – общее число ячеек ОЗУ или ПЗУ, требующихся для записи q -й комплексной программы; b_q и h_q – соответственно число ячеек СОЗУ и ОЗУ, необходимых для хранения промежуточных результатов, а также исходных, некоторых промежуточных и вспомогательных данных при реализации q -й комплексной программы; r_{qk} – количество ресурса типа k , требующееся для реализации q -й программы.

Можно оптимизировать структуру локальной памяти по различным критериям с учетом ограничений, накладываемых на другие параметры системы.

Синтез алгоритмов контроля может быть осуществлен по критерию минимума обращений к локальной памяти. МПС должна реализовать множество задач контроля S за заданное время, при этом каждый микропроцессорный модуль MM_1 предназначен для решения в пределах заданного времени подмножества задач $S_l \subset S$. Для каждой пары "процессор – секция локальной памяти" множество возможных программ задается функциональным графом G , на котором определено отношение предшествования \angle , причем запись $A_i \angle A_j$ означает, что оператор A_j использует результирующую величину оператора A_i . Это отношение порождает орграф $G = (X, U)$, где $U = \{(A_i, A_j) \mid (A_i \angle A_j)\}$. Далее предполагается, что в графе G имеется единственная входная вершина (что не влияет на общность результатов) и отсутствуют контуры и параллельные дуги.

Укладка графа $G = (X, U)$ – такая последовательность $L(G) = (A_{i_1}, A_{i_2}, \dots, A_{i_n})$ всех вершин графа, что для каждой дуги $(A_{i_k}, A_{i_p}) \in U$ имеет место $k < p$. Будем говорить, что вершины A_{i_k} и $A_{i_{k+1}}$ находятся в отношении соседней связности в укладке L , если $(A_{i_k}, A_{i_{k+1}}) \in U$.

Число соседней связности укладки L – величина

$$\chi(L) = \sum_{k=1}^{n-1} \delta(A_{i_k}, A_{i_{k+1}}),$$

где $\delta(A_{i_k}, A_{i_{k+1}}) = \begin{cases} 1, & \text{если } (A_{i_k}, A_{i_{k+1}}) \in U; \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$

Компонента укладки – последовательность вершин этой укладки $S = (A_{j_1}, \dots, A_{j_t})$, удовлетворяющая условиям

$$\begin{aligned} \delta(A_{j_{l-1}}, A_{j_l}) &= 0; \quad \delta(A_{j_t}, A_{j_{t+1}}) = 0; \\ \delta(A_{j_p}, A_{j_{p+1}}) &= 1, \quad p = \overline{1, t-1}. \end{aligned}$$

Число соседней связности графа $G - \chi(Q) = \max_{L \in R(G)} \{\chi(L)\}$, где $R(G)$ – множество всех укладок графа G .

Задача заключается в определении оптимальной укладки $\mathbf{L}^* \in R(G)$, для которой $\chi(\mathbf{L}^*) = \chi(G)$. Дугу $(A_i, A_j) \in U$ будем называть избыточной, если в графе G существует хотя бы один путь μ из $A_i \in X$ в A_j длины $l(\mu) \geq 2$. Здесь и далее под длиной $l(\mu)$ пути μ понимается количество дуг в этом пути. Назовем A – преобразованием графа G граф $G' = A(G)$, полученный из G удалением всех избыточных дуг. Путь $\mu = (A_{i_1}, \dots, A_{i_p})$ графа G проникающим, если:

- а) $d(A_{i_l}) = 0$, где $d(A_i)$ – число дуг, заходящих в вершину A_i ;
- б) в графе G отсутствуют дуги вида (A_y, A_{i_q}) , где $q = \overline{1, p}$,

$$A_y \in X \setminus \bigcup_{q=1}^p A_{i_q}.$$

Предложен алгоритм укладки графа, основанный на отыскании максимальных проникающих путей.

Алгоритм 1. Начать с графа $G_1 = A(G)$, где A – символ A -преобразования.

1. На k -м шаге в графе G_k определяется множество M_k проникающих путей и среди них выбирается путь $\mu_k^* \in M_k$, имеющий максимальную длину.

2. Из графа G_k удаляется путь μ_k^* и образуется новый граф $G_{k+1} = G_k \setminus \mu_k^*$.

Алгоритм заканчивается, когда на некотором шаге $G_m = \emptyset$. Полученные на каждом шаге пути μ_k^* отождествляются с компонентами k -го шага C_k искомой укладки. Тогда последовательность $\Delta = (\mu_1^*, \dots, \mu_{m-1}^*)$ представляет собой укладку графа G , определенную с помощью алгоритма 1. При определении максимального проникающего пути μ_k^* удобно использовать алгоритм 2, основанный на пометке вершин графа G_k .

Алгоритм 2. Первоначально все вершины графа $G_k = (X_k, U_k)$ считаются непомеченными и не просмотренными.

1. В графе G_k входные вершины A_x , у которых $d(A_x) = 0$, получают метку $\lambda(A_x) = 1$. После этого вершины A_x считаются помеченными и непросмотренными.

2. Пусть A_x – некоторая помеченная и непросмотренная вершина в G_k . Рассмотрим множество вершин $Y = \{A_y / (A_x, A_y) \in U_k\}$. Если $d(A_y) = 1$, то вершина $A_y \in Y$ получает пометку $\lambda(A_y) = \lambda(A_x) + 1$ и считается помеченной и непросмотренной. Если $d(A_y) > 1$, то вершина не помечается. После анализа всех $A_y \in Y$ вершина A_x считается просмотренной. Процесс пометки заканчивается, когда все помеченные вершины просмотрены.

3. В графе G_k выбирается вершина A_{i_p} , для которой пометка $\lambda(A_{i_p})$ максимальна. Тогда путь $\mu_k^* = (A_{i_1}, \dots, A_{i_p})$ с последовательно возрастающими пометками вершин является искомым максимальным проникающим путем.

Алгоритм 2 решает задачу с оценкой в $O(n^2)$ действий. Описанный ниже алгоритм 3 является усложнением алгоритма 1 и позволяет во многих случаях повысить точность получаемых решений за счет введения операции прогноза на один шаг.

Алгоритм 3. Начать с графа $G_1 = A(G)$.

1. В графе G_k определяется множество проникающих путей M_k .
2. Для каждого пути $\mu \in M_k$ образуется граф $G_k(\mu) = G_k \setminus \mu$, и в этом графе отыскивается максимальный проникающий путь $\pi_k^*(\mu)$.
3. Среди всех путей $\mu \in M_k$ выбирается путь μ_k^* , для которого максимальна величина $l(\mu_k^*) + l(\pi_k^*(\mu_k^*))$, где $l(\mu_k^*)$ и $l(\pi_k^*(\mu_k^*))$ – длины соответствующих путей.

После этого образуется новый граф $G_{k+1} = G_k \setminus \mu_k^*$. Описанная процедура заканчивается на шаге m , для которого $G_m = \emptyset$. Аналогичным образом могут быть построены эвристические алгоритмы укладки графов с прогнозом на большее число шагов, однако при этом резко возрастает их трудоемкость. Исследования показывают, что алгоритм 1 дает точное решение для укладки программ, являющихся прадеревьями с одним корнем.

Определение верхней границы числа $\chi(G)$ сводится к определению минимального цепного разложения графа G .

Для определения нижней границы числа $\chi(G)$ достаточно найти число висячих вершин в прадереве G_T . В соответствии с алгоритмом 4 определяются оценки γ числа $r(\overline{G}_T)$ сверху: $\gamma \geq r(\overline{G}_T)$.

Алгоритм 4. Начать с графа G_1 , полученного из графа G путем введения фиктивной вершины z_1 и дуги (z_1, A_z) , где A_z – входная вершина графа G .

1. Среди выходных вершин графа $G_k = (X_k, U_k)$ выбирается произвольная вершина A_{x_*} и для нее определяется величина

$$\varepsilon_k(A_{x_*}) = l(\mu_*(z_k, A_{x_*})),$$

где $\mu_*(z_k, A_{x_*})$ – кратчайший путь из z_k в A_{x_*} .

2. В графе G_k находится множество $I_k(A_{x_*})$ вершин, из которых достижима A_{x_*} , и строится граф G'_k путем удаления из G_k подграфа, образованного множеством вершин $I_k(A_{x_*}) \cup \{A_{x_*}\}$.

3. Из графа G'_k конструируется новый граф $G_{k+1} = (X_{k+1}, U_{k+1})$ по следующим правилам: вводится фиктивная вершина z_{k+1} , вводятся дуги вида (z_{k+1}, A_y) , если существуют дуги (A_w, A_y) , где $A_w \notin G'_k, A_y \in G'_k$.

Описанная процедура повторяется до тех пор, пока на некотором шаге не выполнится условие $G_m = \emptyset$. Тогда величина

$$\gamma = n - \sum_{A_{x^*}} \varepsilon_k(A_{x^*})$$

является искомой верхней границей числа $r(\overline{G}_T)$. Здесь суммирование производится по вершинам A_{x^*} , выбранным на всех шагах алгоритма.

Следует отметить, что в зависимости от очередности выбора вершины A_{x^*} на k -м шаге алгоритма 4 верхняя оценка может меняться. На практике хорошие результаты получаются при выборе такой вершины A_{x^*} , для которой значение $\varepsilon_k(A_{x^*})$ максимально.

В качестве критерия оптимальности естественно выбрать критерий минимизации числа обращений к ОЗУ в процессе реализации алгоритма контроля (критерий максимальной интенсификации загрузки СОЗУ).

Рассмотрена *сетевая модель проектирования СОЗУ*. Алгоритм контроля задается в виде последовательности операторов $\mathbf{L} = (A_1, \dots, A_n)$, которой соответствует матрица смежности $\alpha = \|\|\alpha_{ij}\|\|$ размерности $n \times n$. Задачей проектирования является определение минимально необходимой емкости b_0 СОЗУ, обеспечивающей реализацию алгоритма без обращений к ОЗУ (исключая обращения к начальным данным), и организация загрузки регистров СОЗУ.

Из матрицы α образована новая матрица $\tilde{\alpha} = \|\|\alpha_{ij}\|\|$, элементы которой определяется по правилу:

$$\tilde{\alpha}_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } j \geq \delta_i; \\ 0 & \text{в противном случае,} \end{cases}$$

где δ_i – номер такого столбца матрицы α , что $(\alpha_{i\delta_i} = 1) \& \left[(\forall \gamma > \delta_i) (\alpha_{i\gamma} = 0) \right] = 1$. Матрица $\tilde{\alpha}$ является верхней треугольной,

и ее можно рассматривать как матрицу смежности нового графа $\tilde{G} = (\tilde{I}, \tilde{U})$, в котором дуги $(i, j) \in \tilde{U}$. Элементы $\tilde{\alpha}_{ij} = 1$ i -й строки матрицы $\tilde{\alpha}$ указывают на операторы A_j , результирующие величины $Y(A_j)$ которых можно отсылать на хранение в тот же самый регистр СОЗУ, в котором хранилась результирующая величина $Y(A_i)$.

Рассматриваемая задача сводится к определению наименьшего числа непересекающихся по вершинам путей, покрывающих все вершины G^* . В случае, если емкость СОЗУ $b < b_0$, задача определения оптимальной загрузки СОЗУ может быть сформулирована следующим образом: в графе

G^* найти b непересекающихся по вершинам путей μ_1, \dots, μ_b , таких, что величина $\lambda_b = \sum_{k=1}^b \lambda(\rho_k) = \sum_{j \in \bigcup_{k=1}^b \mu_k} d_j$ достигает максимального значения. При этом число обращений к ОЗУ минимально.

Решаемую задачу можно записать в виде линейной сетевой задачи по критерию стоимости: найти поток $\varphi(i, j)$ величины b максимальной стоимости с учетом системы стандартных ограничений на существование стационарного потока в сети. Определяем оптимальный поток по сети \tilde{G}_1 величины $\varphi_z = b$, который составляют b путей μ'_1, \dots, μ'_b из вершины i_0 в вершину i_z , причем для любых i, j пересечение по вершинам $\mu'_i \cap \mu'_j = \{i_0, i_z\}$, $i \neq j$. Знание путей μ'_i , $i = \overline{1, b}$, позволяет определить оптимальное распределение загрузки каждого из регистров СОЗУ. Для этого находим сужение графа \tilde{G}_1 в граф \tilde{G} , производя преобразования, обратные преобразованиям а) и б). Тогда каждому пути в графе \tilde{G}_1 будет соответствовать один путь $\mu_k = (k_1, k_2, \dots, k_{S(k)})$ в графе \tilde{G} , который определяет оптимальное распределение загрузки k -го регистра $N(\rho_k)$, $k = \overline{1, b}$.

Рассмотренная сетевая модель проектирования позволяет определять минимально необходимую емкость СОЗУ, обеспечивающую реализацию алгоритма без обращения к ОЗУ, и организацию загрузки его регистров. При этом не учитывались обращения к начальным данным и операндам.

Для решения задачи организации общей загрузки СОЗУ помимо функционального графа G необходимо наличие множества $M = \{m_1, \dots, m_r\}$ операндов и констант, необходимых для реализации алгоритма \mathbf{L} , заданного графом G , и первоначально хранящихся в ОЗУ или ПЗУ. Для выполнения алгоритма \mathbf{L} должно быть задано отображение $\Gamma: A \rightarrow M$, где $\Gamma(A_k) = M_k \subseteq M$ – множество данных, требующихся для выполнения оператора A_k . Очевидно, что в общем случае $M_k \cap M_l \neq \emptyset$, $k, l = \overline{1, n}$, а мощность множества M_k равняется $|M_k| = C_k$. Графу G соответствует множество $L = \{L_1, \dots, L_p\}$ упорядоченных последовательностей операторов $\mathbf{L}_t \left(A_1^{(i_1)}, \dots, A_n^{(i_n)} \right)$, $t = \overline{1, p}$, где запись $A_k^{(i_k)}$ означает, что оператор A_k в последовательности \mathbf{L}_t находится на i_k позиции.

Необходимая емкость СОЗУ $E_{\text{СОЗУ}}$, позволяющая осуществить реализацию алгоритма \mathbf{L} без обращения за операндами к ОЗУ и промежуточными данными в процессе вычислений, определяется как $E_{\text{СОЗУ}} \geq b_0 + e_0$, где b_0 – минимально необходимое число регистров СОЗУ для хранения промежуточных результатов вычислений, определяемое посредством опи-

санной выше сетевой модели; $e_0 = \max_{A_k \in L} \{c_k\}$ – максимальное число операторов и констант, требующихся для обеспечения выполнения операторов $A_k \in L, k = \overline{1, n}$.

Поскольку обмен информацией между устройствами АЛУ – ОЗУ и СОЗУ – ОЗУ осуществляется по отдельным информационным трактам, то для минимизации общего времени простоя АЛУ (из-за ожидания данных из ОЗУ) необходимо осуществлять равномерную загрузку этих трактов. Поэтому емкости b и e зон СОЗУ должны быть пропорциональны требуемым количествам промежуточных результатов, а также операндов и констант соответственно.

В связи с тем, что в каждую зону СОЗУ информация поступает по самостоятельным информационным трактам, а ячейки каждой зоны сверхоперативной памяти предназначены для хранения различной информации, то оказывается корректной отдельная оптимизация загрузки этих зон по критерию минимума числа обращений к ОЗУ в процессе реализации алгоритма **L**.

При наличии в структуре ММ зоны СОЗУ емкостью e_0 ($e_0 = r$) обращения к ОЗУ в процессе выполнения алгоритма **L** отсутствуют ($\underline{Ne}_0 = 0$), а верхняя оценка числа обращений \overline{Qe}_0 устройства обмена (УО) к ОЗУ для загрузки СОЗУ определяется как

$$\overline{Qe}_0 = \sum_{k=1}^r q_k - \sum_{k=1}^r \sum_{p=1}^{q_k} \xi_k^{(p)} (L_k^{(p)} - 1),$$

где q_k – число обращений к операнду или константе $m_k, q_k \geq 1; L_k^{(p)}$ – число операторов в алгоритме **L**, находящихся в отношении соседней связности и являющихся потребителями величины $m_k; \xi_k^{(p)}$ – число цепочек соседнесвязанных операторов длиной $L_k^{(p)}$.

В случае, если емкость зоны СОЗУ для хранения операндов и констант $e < e_0$, то нижней оценкой \underline{Ne} числа обращений ОУ к ОЗУ в процессе выполнения алгоритма **L** является величина $\underline{Ne} = \sum_{\forall_i: c_i > e} (c_i - e)$. Верхняя и

нижняя оценки \overline{Qe} и \underline{Qe} числа обращений УО к ОЗУ при организации загрузки СОЗУ определяются как

$$\overline{Qe} = \sum_{k=1}^r q_k - \underline{Ne}; \quad \underline{Qe} = \overline{Qe} - \sum_{k=1}^r \sum_{p=1}^{q_k} \xi_k^{(p)} (L_k^{(p)} - 1).$$

Очевидно, что $\overline{Qe} \geq \underline{Qe} \geq \underline{Qe}$ и для упрощения структуры и алгоритма функционирования ОУ следует стремиться, чтобы $\underline{Qe} \rightarrow \underline{Qe}$.

При наличии в программах работы ММ команд условного перехода (УП) в СОЗУ необходимо добавить специальный регистр для хранения адреса начала второй ветви программы, что позволит сократить время при переходе программы на эту ветвь. Этот же регистр может быть использо-

ван и при реализации циклов неопределенной длины, поскольку после каждого выполнения цикла необходимо реализовать команду УП на окончание или продолжение цикла.

Таким образом, применение предлагаемых моделей и алгоритмов позволит вырабатывать обоснованные решения в области построения новых распределенных многопроцессорных информационно-управляющих систем, проектирования микропроцессорных модулей и блоков с обоснованным выбором типа процессора и структуры системы в целом; существенно улучшить массогабаритные и стоимостные характеристики системы управления.

Список литературы

1. Акиншин Р.Н., Бирюков А.А., Сушков А.В. Передача и защита информации в каналах связи распределенных информационных систем. Тула: Изд-во ТулГУ, 2007. 270 с.

2. Бирюков А.А., Кибалюк В.В., Мещеряков Ю.П. Оценка временного цикла работы интеллектуальной системы управления // Сб. науч. трудов НТО РЭС им. А.С. Попова. Тула: ТулГУ, 2008. С. 89-92.

3. Васильев В.В., Додонов А.Г. Многопроцессорные вычислительные структуры для анализа задач на сетях. Проблемы электроники и вычислительной техники. Киев: Наукова думка, 1976. С. 85-97.

4. Вейцман К. Распределенные системы мини- и микроЭВМ / Пер. с англ.; под ред. Г.П.Васильева. М.: Финансы и статистика, 1982. 382 с.

Румянцев Владимир Львович, д-р техн. наук, проф., зам. начальника отдела, cdbae@cdbae.ru, Россия, Тула, АО «Центральное конструкторское бюро аппаратостроения»,

Цыбин Станислав Михайлович, ведущий инженер, inf@cdbae.ru, Россия, Тула, АО «Центральное конструкторское бюро аппаратостроения»,

Фомичев Максим Юрьевич, с.н.с., fgu3cnii@yandex.ru, Россия, Москва, 3 ЦНИИ МО РФ

THE METHOD OF SELECTION OF STRUCTURE AND PARAMETERS OF THE LOCAL MEMORY OF THE INFORMATION MANAGEMENT SYSTEM

V.L. Rumyantsev, S.M. Tsybin, Yu.M. Fomichev

The article describes the synthesis algorithms of the microprocessor module by Cree-deuterium a minimum of accesses to RAM of the computing device. The analysis options duplex RAM. Pre-logana methods of redistribution variables between different types of memory, allowing to reduce the number of accesses to external random access memory. The proposed modified format for the presentation of numbers in the form of floating point, which allows to reduce the execution time of arithmetic operations.

Key words: microprocessor-based modules, information management systems.

Rumyantsev Vladimir Lvovich, doctor of technical sciences, professor, head of department, cdbae@cdbae.ru, Russia, Tula, JSC Central design Bureau of an apparatostroyeniye,

Tsybin Stanislav Mikhailovich, lead engineer, inf@cdbae.ru, Russia, Tula, JSC Central design Bureau of an apparatostroyeniye,

Fomichev Maxim Yurevich, senior researcher, fgu3cnii@yandex.ru, Russia, Moscow, 3 TSNII MO RF

УДК 004.93'11

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ РАСПОЗНАВАНИЯ НАЛИЧИЯ ДВИЖЕНИЯ В ВИДЕОПОТОКЕ

А. С. Сафонов, М. Б. Цудиков

Рассмотрены основные принципы определения движения объектов в видеопотоке. Предложена методика решения задачи распознавания на основе модернизации метода SIFT.

Ключевые слова: SIFT, метод, фильтрация, гауссиан, яркость, видеопоток, особые точки, распознавание.

В настоящее время существует много методов и алгоритмов, позволяющих с определенной долей точности получать признаки объектов на статичных изображениях и в видеопотоках. По полученным признакам можно судить о том, какие объекты видны на изображениях или кадрах видеопотока, насколько они удалены от центра сцены, движутся они или находятся в статичном положении. Однако последняя задача является довольно сложной в вычислительном плане. В связи с этим, надо разработать методику, позволяющую решать задачу в режиме реального времени или близком к нему на первом этапе.

Решение задачи сводится к нескольким этапам:

1. Выбор метода, позволяющего получить признаки объекта

Существует несколько групп методов, позволяющих получить признаки объектов. Это алгоритмы, основанные на вычитании фона, на удалении теней и на непосредственном слежении за объектами.

Методы, основанные на вычитании фона, могут быть использованы только для приемника видеосигнала, находящегося строго в статическом состоянии [7, 8].

Методы, основанные на удалении теней, сильно зависят от времени суток и освещенности в целом [9, 11].

Для решения задачи о распознавании движения лучше всего подходят методы, основанные на непосредственном слежении за объектами.

Рассмотрим наиболее популярные методы этой группы.

Для отслеживания движущихся объектов может использоваться фильтр Калмана в сочетании с блочными гистограммами подбора цветов для мульти-объектного слежения. Но в сложных ситуациях или условиях начальные параметры нельзя получить должным образом, потому что это часто приводит к накоплению ошибок и неправильной обработке видеопотока [13].

Для слежения может также применяться метод Mean-shift. Он проявляет высокую эффективность для слежения за объектами простой геометрической формы. При попадании в локальный минимум алгоритм может перестать работать корректно и потерять движущийся объект из виду [3].

Метод фильтрации частиц предполагает использование среды для предоставления отслеживания неопределенности в Марковском методе, который учитывает только данные из предыдущих кадров видеопотока. Данный подход к распознаванию объектов сцены позволяет понизить информационную сложность задачи распознавания в видеопотоке [1, 2, 4].

Для анализа видеопотока надо выбрать метод для выделения на объектах особых точек. В последнее время очень популярны SIFT-алгоритмы для обнаружения и соответствия движущихся объектов и областей [5, 6, 10, 12].

Однако такой подход имеет недостаток, который заключается в том, что начальные области выбираются вручную, и метод не может быть использован для неконтролируемых ситуаций. Кроме того, так как точки соответствия, полученные в методе SIFT, и точки в процессе фильтрации используются в двух отдельных процессах, то производительность программной реализации решения задачи определения движения будет низкой.

Несмотря на это, для определения особых точек выбран метод SIFT по следующим причинам:

- программная производительность алгоритма, реализующего метод SIFT, будет достаточно высокой при оптимизации кода программы;
- так как одной из основных задач является просто определение наличия движущихся объектов на видеопотоке, то по сильным измерениям характеристик особых точек будет очевидно, есть ли движущиеся объекты на видеопотоке, а если есть, то где именно они движутся;
- этот метод устойчив к масштабированию, поворотам, изменениям угла обзора и зашумлениям.

2. Разработка алгоритма решения задачи распознавания.

Для решения поставленной задачи предложен алгоритм, отличающийся от стандартной реализации метода SIFT.

Предварительная обработка видеопотока. Она выполнена следующим образом: сначала при помощи медианного фильтра были удалены различного рода искажения. Затем выполнена нормализации яркости. Конечной операцией является переход от цветных кадров видеопотока к черно-белым, так как этого требует корректная работа самого метода. Для этого использована следующая формула:

$$Color = 0,29R + 0,57G + 0,14B \quad (1)$$

Масштабирование кадров видеопотока. Решено было отказаться от этого этапа, так как он необходимо только для получения более точных в следующей операции гауссианов, точность которых будет устраивать нас и без этого промежуточного этапа.

Получение пирамиды гауссианов. Как правило, данный этап отличается вычислительной сложностью. Это связано с тем, что чем больше гауссианов получить, тем точнее получится финальный результат обработки кадров видеопотока. Но при этом каждый последующий формирующийся гауссиан получается по времени в σ^2 раз дольше предыдущего, где σ – радиус гауссова ядра. Поэтому необходимо найти баланс между точностью и быстродействием. Для достижения достаточной точности было принято решение о формировании шести гауссианов при условии, что необходимо минимум четыре для корректной работы алгоритма, и $\sigma = 2$, то есть каждое последующее гауссово ядро для размытия кадра в два раза больше предыдущего. Свертка последнего гауссова ядра размерностью 65x65 занимает слишком много времени и не позволяет работать программе в режиме реального времени. Поэтому процесс свертки был распараллелен. При реализации метода надо учитывать, что чем больше будет матрица последнего гауссова ядра, тем больше пикселей от краев кадров видеопотока будет потеряно. В данном случае теряется по 32 пикселя (половину от размера матрицы) с каждого края из-за того, что при свертке крайние пиксели получают с ложными числовыми значениями. Связано это с тем, что не на все коэффициенты гауссова ядра происходит перемножение (рис. 1).

Получение пирамиды разницы гауссианов. Никаких изменений или нововведений применено не было. Все осталось в стандартном виде. Пример работы разработанного программного обеспечения при получении разниц гауссианов показан на рис. 2.

Нахождение, фильтрация и ориентация особых точек. Нахождение точек выполнялось в соответствии с модернизируемым методом. Фильтрация была полностью изменена. Во-первых, она поменялась местами в последовательности действия алгоритма с ориентацией. Во-вторых, вместо матрица Гессе была реализована проверка через вычисленные уг-

лы поворота векторов. Ложными принимались все точки, у которых вектор имел угол наклона $-\frac{\pi}{2}$, 0 или $\frac{\pi}{2}$. Связано такое изменение с тем, что при отрисовке векторов многие из них имели подобные углы наклона, из-за чего весь исходный кадр «закрашивался» подобными векторами и было невозможно обрабатывать подобного рода данные. От стандартной фильтрации было принято решение отказаться из-за того, что точность обработки кадров почти не повышалась, а быстродействие сильно снижалось. Ориентация высчитывалась по стандартным формулам, а вектора, получившиеся в ходе вычислений, отрисовывались как прямые линии со стрелками на конце, соединяя два пикселя, в соответствии с формулой:

$$\begin{cases} x1 = x0 + m \cdot \cos \theta \\ y1 = y0 + m \cdot \sin \theta \end{cases} \quad (2)$$

где $x1$ и $y1$ – координаты конца вектора; $x0$ и $y0$ – координаты начала вектора; m – длинная вектора (величина градиента); θ – угол поворота вектора (направление градиента).



Рис. 1. Пример полученных гауссианов программным обеспечением

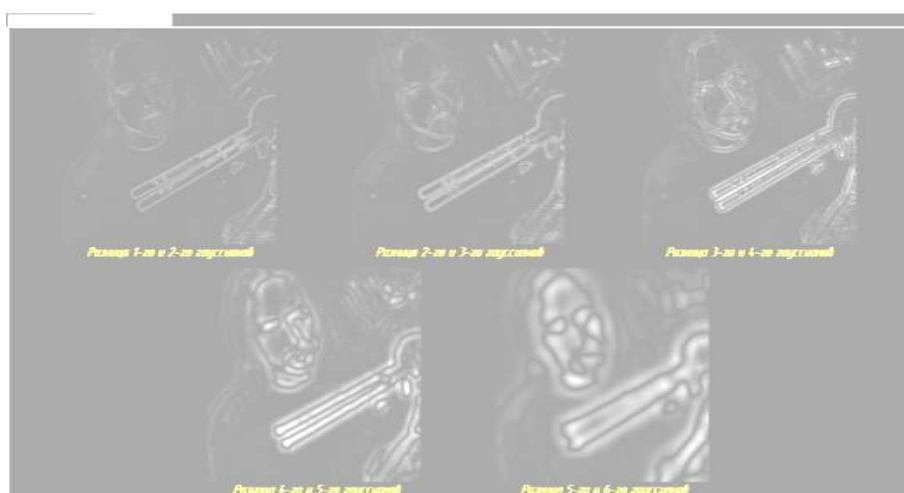


Рис. 2. Расчет разниц гауссианов

Получение векторов на обработанных кадрах видеопотока показано на рис. 3.



Рис. 3. Пример обработанного кадра видеопотока программным обеспечением

В зависимости от разрешения входного видеопотока изменяется фреймрейт выходного обработанного видеопотока. Для разрешения в 600x480 количество обработанных кадров в секунду составляет 15, а такое выходное количество кадров в секунду можно назвать видеопотоком. Проблема быстродействия заметна при больших разрешениях, например при 1024x768 количество обработанных кадров в секунду составляет около 2, что не позволяет пока обрабатывать видеопоток в реальном режиме времени.

Для проверки правильности работы предложенного алгоритма была выполнена обработка статичного изображения одной и той же сцены (рис. 4).

Как видно, обработанные кадры имеют почти идентичные наборы особых точек и их ориентации, поэтому в этом плане программа работает стабильно и точно. На рис. 4 второй кадр имел масштаб 1,25:1 по сравнению с первым, третий кадр был еще повернут на 15° относительно первого против часовой стрелки, четвертый был искусственно зашумлен.

Правильность нахождения этих особых точек доказывается тем, что различные объекты на кадрах имеют значительно отличающиеся особые точки по ориентации, их кучности и координатам положения.



Рис. 4. Кадры одной и той же сцены на примере статичного изображения: а – оригинальный кадр; б – кадр с другим масштабом; в – кадр с другим углом поворота и другим масштабом; г – зашумленный кадр

Вопрос определения движения в видеопотоке решается следующим образом: если особые точки меняются, то движение есть, в противном случае его нет. При этом стоит отметить, что точки могут не меняться, но могут смещаться или их ориентация меняется относительно своего предыдущего положения, причем для всех точек одновременно. Это говорит о том, что движется сама сцена или камера. Движения объектов как такового не происходит.

Список литературы

1. A tutorial on particle filters for on-line nonlinear/nongaussian bayesian tracking / S.Arulampalam, S.Maskell, N.Gordon, T.Clapp // IEEE Trans Signal Process 50(2), 2002. P. 174–188.
2. Robust tracking-by-detection using a detector confidence particle filter / M.Breitenstein, F.Reichlin, B.Leibe, E.Koller-Meier, L.Gool // Proceedings of IEEE International Conference on Computer Vision, Kyoto. Japan, 2009. P. 1515–1522.
3. Comaniciu D., Peter M., Mean Shift: A Robust Approach Toward Feature Space Analysis// IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 24 (5), 2002. P. 603–619.
4. Comaniciu D., Ramesh V., Meer P. Kernel-based object tracking// IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell 25(5), 2003. P. 564–577.
5. David G. Lowe. Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints// International Journal of Computer Vision, 2004. P. 91-110.
6. Fazli S., Pour H., Bouzari H. Particle Filter Based Object Tracking with Sift and Color Feature// Second International Conference on Machine Vision, 2009. P. 89–93.
7. Gupte S., Masoud O., Martin R. Papanikolopoulos NP //IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems 3(1), 2002. P. 37–47.
8. Lee D. Effective Gaussian mixture learning for video background subtraction// IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell 27(5), 2005. P. 827–832.
9. Nunes E., Conci A., Sanchez A. Robust Background Subtraction on Traffic Videos Systems, Signals and Image Processing, 2011. P. 1–4.
10. Wu P., Kong L., Zhao F., Li X. Particle filter tracking based on color and SIFT features// Proceedings of international conference on audio, language and image processing, 2008. P. 932–937.
11. Yang J., Zhao Z. Shadow processing method based on normalized RGB color model. OptoElectron Eng 34(12), 2007. P. 92–96.
12. Аун С., Шарнин Л.М., Кирпичников А.П. Информационно-измерительная система слежения за движущимися объектами // Вестник Казанского технологического университета. Казань: КНИТУ, 2011. Т. 14. №16. С. 224-232.
13. Савинов Г.Ф. О некоторых особенностях алгоритма оптимальной фильтрации Калмана — Бьюси // Авиакосмическое приборостроение № 6, 2007.

Сафонов Александр Сергеевич, бакалавр, TuaTalf@yandex.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет,

Цудиков Михаил Борисович, канд. техн. наук, доц., tsudickov.mb@yandex.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет

**SOFTWARE IMPLEMENTATION OF THE SOLUTION OF THE PROBLEM
OF RECOGNIZING THE AVAILABILITY OF MOVEMENT IN THE VIDEO STREAM**

A.S. Safonov, M.B. Tsudikov

The basic principles of determining the motion of objects in the video stream are considered. A technique for solving the recognition problem based on the modernization of the SIFT method is proposed.

Key words: SIFT, method, filtering, gaussian, brightness, video stream, special points, recognition.

Safonov Alexander Sergeevich, bachelor, TuaTalf@yandex.ru, Russia, Tula, Tula State University,

Tsudikov Mihail Borisovich, candidate of technical sciences, docent, tsudikov.mb@yandex.ru, Russia, Tula, Tula State University

УДК 621.833

**ТЕПЛОВОЙ ТЕСТ-ОБЪЕКТ ДЛЯ ОЦЕНКИ
ТЕПЛОВИЗИОННЫХ СИСТЕМ**

Е.В. Филиппова

Излагаются процессы, протекающие в тепловом тест-объекте, созданном для оценки параметров тепловизионных систем.

Ключевые слова: тепловизионная система, критерии качества, тепловой процесс, излучатель, конвекция, статический режим.

Критерии качества работы тепловизионной системы (ТС), являясь мерой успешного выполнения основной задачи, стоящей перед системой, учитывают разнообразные технические, эксплуатационные и технико-экономические требования к ТС.

Критерии качества тепловизионной системы можно разделить на группы:

- критерии качества изображения, сформированного ТС (информативные свойства теплового изображения);
- технические параметры и характеристики аппаратуры.

Для описания качественных параметров и характеристик ТС в пользуются понятиями *пространственное, временное, спектральное и энергетическое (амплитудное) разрешение*. Для ТС, работающих в *статическом* режиме, т.е. при неограниченном времени наблюдения неподвижного поля объектов, наиболее важно обеспечить хорошее пространственное и энергетическое разрешение.

При контроле тепловизионной системы должны быть использованы методы и тест-объекты, ориентированные на автоматизацию и кратчайшее время выполнения контрольных процедур.

Тест-объект - контрольное изображение с известными параметрами, относится к средствам оценки качества и (или) калибровки устройств, формирующих изображения.

В результате анализа существующих средств контроля ТС выявлена необходимость расширить эти системы контроля и тестирования в рамках ГОСТа за счет тест-объектов, т. к. существующие методы не позволяют выявить информационные характеристики и потери информации.

Тепловые тест-объекты, имеющие довольно простую конструкцию, позволяют эмитировать излучение реальных объектов, а также определять желаемые параметры и характеристики приборов, чувствительных к инфракрасному излучению.

Тепловой тест-объект в основе своей имеет источник ИК-излучения и, возможно, элемент, направляющий излучение в заданном направлении.

Интенсивность ИК-излучения зависит от температуры поверхности излучателя, следовательно, для решения задач стабилизации и варьирования интенсивности излучения, требуется определить зависимость, характеризующую поле температур поверхности излучателя.

Протекание теплового процесса в любой точке твердого тела в любой момент времени характеризует дифференциальное уравнение теплопроводности Фурье. Для изотропного тела с источником тепла, распределено в теле произвольно и теплофизическими параметрами, зависящими от температуры, в декартовой системе координат оно имеет вид:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial t}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial t}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial t}{\partial z} \right) + W = c \gamma \frac{\partial t}{\partial \tau} \quad (1)$$

где $t=t(x,y,z, \tau)$ – температура в точке (x,y,z) в момент времени τ ; $\lambda = \lambda(t)$ – коэффициент теплопроводности тела; $c = c(t)$ – удельная теплоемкость тела, Дж/(кг °С); γ – плотность тела, кг/м³; W – удельная объемная мощность источников энергии, Вт/м³.

Для описания тепловых процессов необходимо определить параметры тела излучателя, в котором они происходят. Анализируя рассматриваемую задачу, легко прийти к выводу о том, что единичный элемент должен иметь малые размеры поперечного сечения (для обеспечения малого последействия), причем достаточная излучающая площадь может быть получена увеличением длины.

Основываясь на малых линейных размерах тела, принимаются допущения об изотропности коэффициента теплопроводности λ ; рассматривая малый интервал температур (20...120°) можно пренебречь также зависимо-

стью коэффициента теплопроводности от температуры; источником энергии в теле является протекание низкочастотного электрического тока, следовательно, можно считать, источник равномерно распределен в теле.

На температуру перегрева влияют два фактора, поддающиеся корректировке в процессе функционирования теплового тест-объекта. Это напряжение электрического тока U и коэффициент теплоотдачи α . Напряжение является легко варьируемым параметром и может быть задано в зависимости от требуемой температуры поверхности. Коэффициент теплоотдачи является функцией многих переменных, и, следовательно, необходимо проведение исследования с целью изыскания закономерностей, позволяющих варьировать и этот параметр.

Важным является последствие излучающих элементов, которое находится во взаимосвязи с коэффициентом теплоотдачи, поэтому существенны вопросы управления коэффициентом теплоотдачи, для решения которых необходимо проведение исследования процесса охлаждения при вынужденной конвекции, как наиболее распространенного способа увеличения коэффициента теплоотдачи.

При свободной конвекции, в отличие от вынужденной, среда, температура которой повышается при взаимодействии с нагретыми поверхностями, принудительном движении среды, вызванном вынуждающей силой (обычно разностью давления). Влияние движения среды характеризуется ее скоростью v (м/с).

Значение скорости воздушного потока позволяет определить коэффициент конвективной теплоотдачи в условиях вынужденной конвекции. Из формулы (2), следует, что влияние принудительного охлаждения выражается как в изменении характерного размера (с диаметра на длину), так и в изменении критерия Нуссельта, который принимает форму

$$Nu = 0.66 Re^{0.5} Pr_f^{0.43} \left(\frac{Pr_f}{Pr_w} \right)^{0.25} . \quad (2)$$

Причем в интервале температур $0-300^{\circ}C$ можно считать $Pr_f=Pr_w=0.7$, а следовательно последнее соотношение может быть представлено в виде (3)

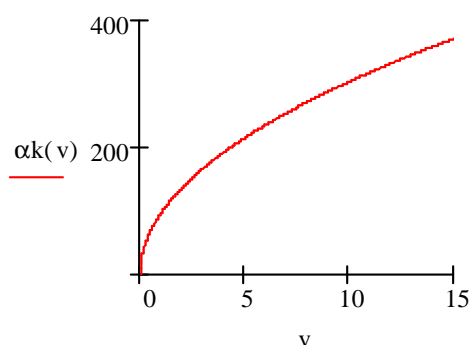
$$Nu = 0.57 \sqrt{Re} . \quad (3)$$

Коэффициент кинематической вязкости ν , входящий в критерий Рейнольдса, для воздуха при нормальных условиях равен $15.06 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$.

Представленных данных достаточно для определения зависимости коэффициента конвективной теплоотдачи в условиях вынужденной конвекции от скорости омывающего потока

$$\alpha_k = 0.57 \lambda \sqrt{\frac{v}{\nu L}} . \quad (4)$$

Для наглядного анализа представим зависимость (4) графически (приведена на рисунке).



Зависимость коэффициента конвективного теплообмена α_k от скорости омывающего потока при вынужденной конвекции

Полученная зависимость (рис. 1) показывает, что в сравнении с коэффициентом теплоотдачи при свободной конвекции (для диапазона температур 20...100 °С лежит в пределах 35...55), теплоотдача при вынужденной конвекции с имеющимися параметрами при скорости омывающего потока более 3 м/с происходит интенсивнее.

Оптимальным легко варьируемым параметром, является стационарная температура перегрева $v_{ст} = t_{раб}$. Таким образом, увеличение скорости повышения температуры легко добиться, увеличив стационарную температуру перегрева, путем повышения мощности, поступающей в излучающий элемент. Однако в этом случае, произойдет нарушение теплового баланса излучателя при работе в статическом режиме, т.е. его температура будет значительно превышать требуемую. Следовательно, необходимо исследовать методы, позволяющие обеспечить как высокую скорость повышения температуры, так и корректную работу излучающего элемента в стационарном режиме. Решением может быть как использование средств контроля термического состояния излучателя, управляющих интенсивностью непрерывного потока поступающей энергии в виде, например, ЦАП, так и использование импульсной подачи энергии с применением широтно-импульсной модуляции управляющих воздействий.

Список литературы

1. Алеев Р.М., Иванов В.П., Овсянников В.А. Основы теории анализа и синтеза воздушной тепловизионной аппаратуры. Казань: Казан. ун-т, 2000. 252 с.
2. Госсорг Ж. Инфракрасная термография. Основы, техника, применение: пер. с франц. М.: Мир, 1988. 416 с.

3. Тарасов В.В., Якушенков Ю.Г. Инфракрасные системы «смотрящего» типа. М.: Логос, 2004. 444 с.

Филиппова Екатерина Вячеславовна, лаборант, kisskin@bk.ru Россия, Тула, Тульский государственный университет

THERMAL TEST-OBJECT FOR ESTIMATION OF THERMAL SYSTEMS

E.V. Filippova

The processes occurring in a thermal test facility designed to evaluate the parameters of thermal imaging systems are outlined.

Key words: thermal imaging system, quality criteria, heat process, radiator, convection, static mode.

Filippova Ekaterina Vyacheslavovna, laboratory assistant, kisskin@bk.ru, Russia, Tula, Tula State University

УДК 681.5

ПОГРЕШНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПАНОРАМЫ ИЗ СЕРИИ КАДРОВ

Д.В. Чеховский, М.Б. Цудиков

Рассмотрены возможные ошибки получения панорамы из нескольких кадров. Рассмотрены способы их компенсации.

Ключевые слова: панорама, система панорамного наблюдения, реперные точки.

Наиболее распространенным способом получения панорамных изображений является сшивание серии кадров. Кадры соединяются с определенным перекрытием, которое составляет от 5 до 30%. Вследствие инерционности поворотной части систем панорамного наблюдения (СПН), люфтов в механизме поворотной части СПН, пропуска шагов электродвигателем, некорректной установки системы панорамирования относительно горизонта, колебаний системы под воздействием ветра и других факторов неизбежно смещение оптического центра объектива системы от исходного положения. Как следствие возникает смещение кадров панорамы n и $n+1$ относительно друг друга и появляется разница (ошибка) $\Delta_{3,n}$ между центрами действительной зоны перекрытия кадров и ожидаемой, которая является функцией трех параметров: смещением по вертикали Δy , смещением по горизонтали Δx и углом наклона кадров ξ (рис. 1).

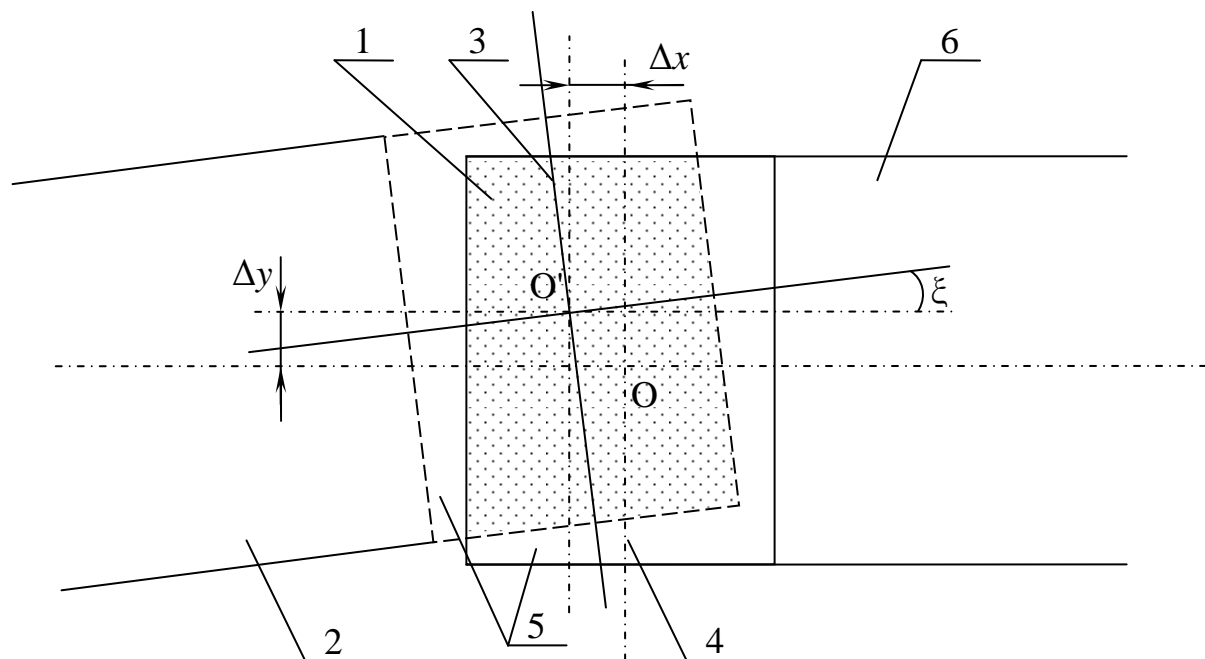


Рис. 1. Смещение кадров относительно друг друга

Исходя из уравнения прямой $y = kx + b$, а также учитывая, что $x = \Delta x$, $y = \Delta y$, $k = \operatorname{tg} \xi$, $b = \Delta x$, получим, что угол ξ описывается выражением

$$\xi = \operatorname{arctg} \left(\frac{\Delta y - \Delta x}{\Delta y} \right). \quad (1)$$

Ошибка зоны перекрытия $\Delta_{з.п.}$ определяется как разность между центрами расчетного (O) и действительного (O') положений кадров формируемой панорамы и зоны перекрытия:

$$\Delta_{з.п.} = F_p(x, y) - F_o(x, y). \quad (2)$$

Опишем влияние внешних и внутренних факторов, влияющих на ошибку зоны перекрытия $\Delta_{з.п.}$. В общем виде $\Delta_{з.п.}$ определяется формулой

$$\Delta_{з.п.} = \Delta_x + \Delta_y = \Delta_{м.с.} + \Delta_{в.с.}, \quad (3)$$

где $\Delta_{м.с.}$ - погрешности, связанные с механической частью системы; $\Delta_{в.с.}$ - погрешности, связанные с внешней средой.

Для придания СПН астатизма относительно возмущающего воздействия и компенсации составляющих ошибки $\Delta_{м.с.}$ и $\Delta_{в.с.}$ необходимо использовать управление системой по обратной связи или комбинированное управление, т.к. ошибка системы $\Delta_{м.с.}$ имеет в основном статический характер, ошибка внешней среды $\Delta_{в.с.}$ - стохастический.

Наиболее существенными составляющими погрешности $\Delta_{м.с.}$ являются:

1. Ошибки кинематической точности зубчатых передач и плавности работы механической передачи $\varepsilon_{к.точн.}$. Ошибки кинематической точности $\varepsilon_{к.точн.}$ происходят вследствие погрешности шага и формы зубьев и приводят к расхождению между постоянным передаточным отношением i_n и мгновенным i_m . Вследствие этого в системе панорамного наблюдения изменяется размер кадров. Также могут возникать ошибки при некоторых способах определения угла поворота зубчатых колес [6].

Ошибки кинематической точности определяется как

$$\varepsilon_{к.точн.} = (\alpha_{\partial} - \alpha_n)r, \quad (4)$$

где α_{∂} – действительный угол поворота зубчатого колеса; α_n – номинальный угол поворота зубчатого колеса; r – радиус зубчатого колеса.

Для предотвращения и минимизации ошибки кинематической точности $\varepsilon_{к.точн.}$ рекомендуется изготавливать зубчатые передачи с классом точности не ниже 8-го. Использование высокоточных и точных зубчатых передач (6-й и 7-й классы точности) позволит сократить влияние ошибки кинематической точности до 0,1...0,25 % за один оборот колеса [2, 6].

2. Пропуск шагов электродвигателем и проскальзывание зубчатого колеса или муфты на валу. Данная проблема, как правило, носит стохастический характер. На практике, у двигателей с шагом $0,8^\circ$ пропуск шагов не превышает 1-2 шагов за оборот, т.е. 0,25...0,5 %.

3. Ошибка, связанная с инерционностью вращающейся части системы. В связи с малой массой объектива СПН (несколько сот граммов) и других подвижных частей вносит погрешность в работу системы не более 1 %.

Как было указано выше, ошибки механической части системы весьма эффективно компенсируются введением обратной связи в контур управления СПН [2, 3, 4].

Значения составляющей ошибки зоны перекрытия $\Delta_{в.с.}$ очевидно не зависят от течения времени и могут принимать любые значения, т.е. основу ошибки $\Delta_{в.с.}$ составляют стационарные стохастические процессы, которые описываются математическим ожиданием

$$\tilde{x} = \int_{-\infty}^{+\infty} xw(x)dx = \bar{x} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^{+T} x(t)dt, \quad (5)$$

где x – случайная величина; $w(x)$ – плотность вероятности.

части системы; k_M - влияние массогабаритных параметров системы панорамирования; F_M - массогабаритные параметры системы панорамирования; w_{oc} - сигнал обратной связи о положении объектива; y_{spp} - реперная точка; $k_{т.о.}$ - коэффициент влияния точности исполнения оптической части системы; $F_{т.о.}$ - точность исполнения оптической части системы; $k_{осв}$ - коэффициент влияния освещенности панорамируемой сцены; $F_{осв.}$ - освещенность панорамируемой сцены; w_{fil} - изображение сцены после предварительной обработки и фильтрации; w_{pir1} - пирамида изображений кадра панорамы; w_{pir2} - пирамида разностей изображений кадра панорамы; w_{det} - набор реперных точек.

Система передаточных функций системы примет следующий вид:

$$\begin{cases} y_{wcoor} = w_{im} \cdot W_{ок}; \\ y_{spp} = W_{ПРОГ} \cdot (K_{ОПТ.О} F_{ОПТ.О} + w_{im}); \\ w_{im} = \frac{W_{ОПТ}}{1 + W_{ДВ} W_{ос} W_{ОПТ}} \cdot (K_{МЕХ.О} F_{МЕХ.О} + U_1(t) \cdot W_{ДВ}). \end{cases} \quad (8)$$

где

$$W_{ДВ} = W_{упр.дв.} \cdot W_{дв.}, \quad W_{ПРОГ} = W_{пред.обр.} \cdot W_{пир.} \cdot W_{пир.разн.} \cdot W_{дет.} \cdot W_{дескр.},$$

$$F_{МЕХ.О} = F_{вн.возд.} + F_{м.т.} + F_{виб.} + F_M,$$

$$K_{МЕХ.О} = k_{вн.возд.} + k_{м.т.} + k_{виб.} + k_M,$$

$$F_{ОПТ.О} = F_{осв.} + F_{о.т.}, \quad K_{ОПТ.О} = k_{осв.} + k_{о.т.}$$

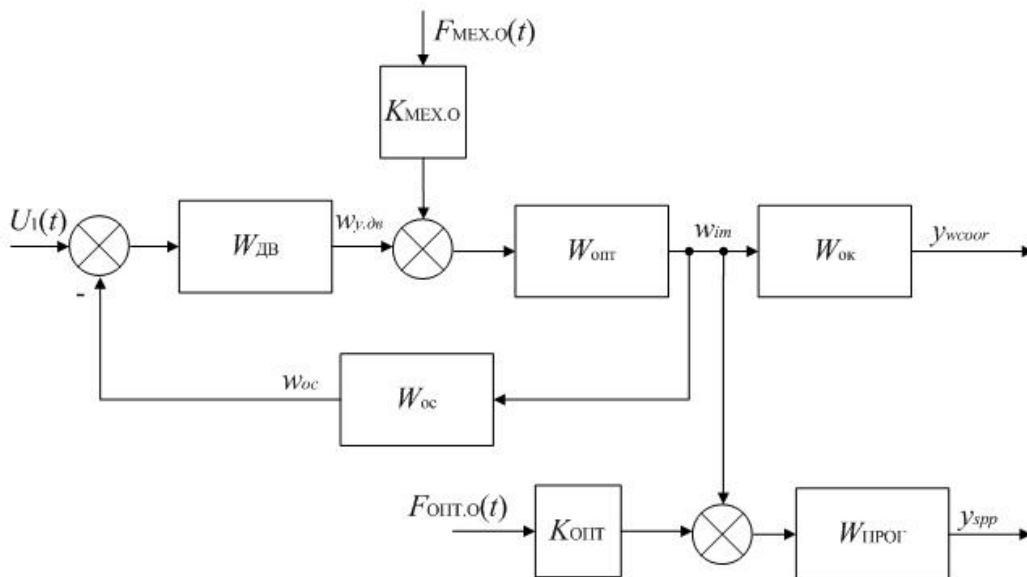


Рис. 2. Структурная схема СПН

Для нахождения оптимального значения параметров системы $W_{\text{опт}}$ на пространстве параметров зададим область ограничений Ω :

$$W = \begin{pmatrix} w_{y,\text{дв min}} \leq w_{y,\text{дв}} \leq w_{y,\text{дв max}} \\ w_{im.\text{min}} \leq w_{im} \leq w_{im.\text{max}} \\ w_{oc.\text{min}} \leq w_{oc} \leq w_{oc.\text{max}} \\ U_1(t)_{\text{min}} \leq U_1(t) \leq U_1(t)_{\text{max}} \\ F_{\text{MEX.O min}} \leq F_{\text{MEX.O}} \leq F_{\text{MEX.O max}} \\ F_{\text{ОПТ.O min}} \leq F_{\text{ОПТ.O}} \leq F_{\text{ОПТ.O max}} \end{pmatrix}, \quad (9)$$

$$Y = \begin{pmatrix} y_{w\text{coor.min}} \leq y_{w\text{coor}} \leq y_{w\text{coor.max}} \\ y_{spp.\text{min}} \leq y_{spp} \leq y_{spp.\text{max}} \end{pmatrix}. \quad (10)$$

Задача поиска оптимального значения параметров системы $W_{\text{опт}}$ состоит в поиске наиболее подходящих, согласно выбранным критериям, показателей с учетом ограничений, наложенных на вектор параметров W и вектор функций Y [1, 6]. Для этого составим функциональный критерий качества системы J

$$J = \int_{t_1}^{t_2} (k_{y_{w\text{coor}}} \cdot y_{w\text{coor}} + k_{y_{spp}} \cdot y_{spp}), \quad (11)$$

где $k_{y_{w\text{coor}}}$, $k_{y_{spp}}$ - весовые коэффициенты составляющих вектора функций.

Таким образом, задачу нахождения оптимального состояния системы $W_{\text{опт}}$ согласно выбранным ограничениям сформулируем следующим образом. Пусть имеется n -мерное пространство параметров R_x^n , любой точке W которого можно поставить в соответствие точку Y m -мерного пространства функций R_f^m , задан вид функционального критерия качества J – функции оценки, отображающий пространство R_f^m на множество неотрицательных действительных чисел A_f . Найдем на пространстве параметров такую точку $W_{\text{опт}}$, в которой значение функционального критерия качества J будет минимальным.

$$Y = Y(W); \quad W \in R_x^n; \quad Y \in R_f^m; \quad J(Y) \in A_f. \quad (12)$$

Найдем такое $W_{\text{опт}}$, что $J(W_{\text{опт}}) \leq J(W)$ при любом $W \in R_x^n$.

Для оптимизации системы наиболее предпочтительным является использование демпфированного метода наименьших квадратов (ДМНК). Несмотря на трудоемкость выполнения, преимущества метода ДМНК заключаются в том, что данный метод универсален, не зависит от числа функций и параметров системы в отличие от метода наименьших квадра-

тов и метода Ньютона, обладает быстрой сходимостью, т.к. при выполнении поиска оптимального решения отбрасывает слабо влияющие параметры, не зависит от наличия в системе линейно связанных параметров [6].

Метод ДМНК является дополненным методом наименьших квадратов. Повышение сходимости ДМНК достигнуто за счёт ограничения длины вектора Δx в базовом методе: к оценочной функции φ прибавляется слагаемое $p^2|\Delta x|$ (квадрат модуля вектора Δx , умноженный на демпфер p^2).

Следовательно, оценочная функция φ примет следующий вид:

$$\varphi_p = \varphi + p^2|\Delta x|^2, \quad (13)$$

и для её оптимизации применяется обычный метод наименьших квадратов.

Список литературы

1. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. Спб.: Профессия, 2003. 752 с.
2. Браславский Д.А., Петров В.В. Точность измерительных устройств. М.: Машиностроение, 1976. 312 с
3. Котюк А.Б. Датчики в современных измерениях. М.: Радио и связь: Горячая линия – Телеком. 2006. 96 с.
4. Курочкин С.А., Лучанский О.А. Цифровое управление объектами // Математическое и программное обеспечение вычислительных систем. М.: Горячая линия - Телеком, 2007. С. 25 - 28.
5. Пытьев Ю.П. Методы математического моделирования измерительно-вычислительных систем. М.: Физматлит, 2002. 384 с.
6. Расчет и конструирование механизмов и деталей приборов / под ред. Ф.Л.Литвина М.: Машиностроение, 1975. 200 с.

Чеховский Дмитрий Валериевич, канд. техн. наук, dmichekh@gmail.com, Россия, Тула, Тульский государственный университет,

Цудиков Михаил Борисович, канд. техн. наук, доц., tsudickov.mb@yandex.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет

ERRORS OF PANORAMIC IMAGE FORMING FROM SEVERAL FRAMES

D.V. Chekhovsky, M.B. Tsudickov

Potential errors of panorama forming from several images is considered. Errors compensation methods is considered.

Key words: panorama, panoramic monitoring system, check points.

Chekhovsky Dmitry Valerievich, candidate of technical science, dmi-chekh@gmail.com, Russia, Tula, Tula State University,

Tsudickov Mikhail Borisovich, candidate of technical science, docent, tsudickov.mb@yandex.ru, Russia, Tula, Tula State University

УДК 004.891.1

МОДЕЛЬ ОЦЕНИВАНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ВЫПУСКНИКОВ

А.А. Фомичев, З.Ю. Филиппова

Предложены модель и алгоритм оценки конкурентоспособности выпускников вузов в рамках компетентностного подхода. В основу предложенного алгоритма положен механизм нечетких выводов. Модель и алгоритм протестированы для студенческой группы по итогам освоения программы бакалавриата.

Ключевые слова: компетенция, компетентностная модель, лингвистические переменные, конкурентоспособность, профессиональная пригодность.

Сегодня от выпускника вуза требуются не только знания и умения, но и способности к их применению на практике с использованием накопленного опыта профессиональной деятельности. Задачей высшего образования на сегодняшний день является внедрение нового Федерального государственного стандарта 3-го поколения (ФГОС ВПО-3).

В связи с внедрением ФГОС-3 оцениванию подлежит не только академическая успеваемость студента, а также его способности к различным видам деятельности, или компетенции, умения и навыки, которых в дальнейшем потребует их профессиональная деятельность.

Одним из важных критериев деятельности является качество выпускаемого продукта, товара – выпускника – будущего специалиста.

Ключевым понятием, выражающим сущность рыночных отношений, является понятие конкуренции. В настоящее время, в период кризисного этапа развития народного хозяйства, и в ближайшем будущем на рынке труда, по прогнозам специалистов, будет иметь место превышения предложения над спросом. Фактом является то, что динамика спроса на специалистов определенного профиля и квалификации в современной России на рынке труда вступила в противоречие с традиционно сложившейся структурой их подготовки, с номенклатурой специальностей и специализаций, с длительным периодом подготовки конкретного специалиста. Последнее проявляется в том, что студенты хотят получить дополнительные умения. Их интересы смещаются в область экономики, менеджмента, юриспруденции, иностранных языков.

Реагируя на эти требования, изучая конъюнктуру рынка труда, учебные заведения должны исследовать не только экономические, но и социальные, психологические, политические факторы [1]. То же самое приходится сейчас делать каждому человеку, особенно выпускнику, на индивидуальном уровне в силу ситуации, сложившейся на рынке труда.

Вышесказанное даёт основание для исследования проблемы, выделения и формирования комплекса качеств будущего специалиста, который позволил бы ему эффективно конкурировать на региональном рынке труда и реализовать свой потенциал.

Решение этой проблемы возможно, когда в образовательном процессе будет сознательно развиваться комплексная личностная потребность в соединении узкого профессионализма и универсализма. Такое сочетание может обеспечить личности и будущему специалисту конкурентоспособность на рынке труда, а учебным заведениям – конкурентоспособность на рынке производителей образовательных услуг.

Если проблема профессионализма всегда была в центре внимания отечественной системы образования, то другие параметры успешного поведения, в числе которых и конкурентоспособность, не были предметом целенаправленного формирования и развития в профессиональной школе.

В данной работе предложены модель и алгоритм оценки конкурентоспособности выпускников ВУЗа на рынке труда. Для начала рассмотрим предложенную нами модель оценивания конкурентоспособности выпускника.

Модель оценивания уровня конкурентоспособности выпускника вуза. На основе проведенного анализа рынка труда, выпускник должен обладать конкурентоспособностью, которая складывается из ряда весомых компетенций (рис. 1).

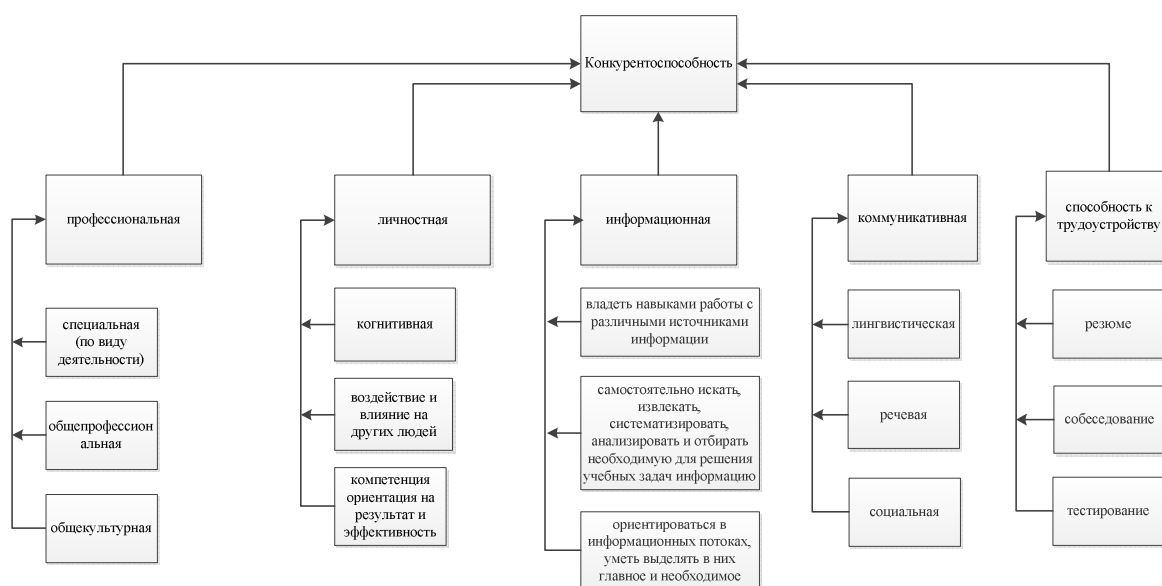


Рис. 1. Модель оценивания конкурентоспособности выпускника вуза

Рассмотрим каждую компетенцию по составляющим ее компонентам.

1. Профессиональная компетенция - способность успешно действовать на основе практического опыта, умения и знаний при решении профессиональных задач. Состоит из общепрофессиональной, общекультурной и специальной компетенции.

2. Личностная компетенция отражает интегральные свойства человека, связанные с тем, как он строит отношения с другими людьми, как ставит перед собой цели, как решает задачи и обращается с информацией, и какой уровень саморегуляции ему доступен [2]. Состоит из:

- компетенции ориентации на результат и эффективность - выпускник стремится совершенствоваться в своей деятельности, достигать лучших результатов, превосходить других, достигать значительных успехов, решать сложные задачи, соответствовать высоким требованиям, проявлять инициативу и придумывать в работе что-то новое;

- воздействие и влияние на других людей - студент способен убеждать, уговаривать, производить хорошее впечатление, добиваться того, чтобы окружающие люди повели себя согласно его ожиданиям, владеет множеством приемов аргументации;

- когнитивная компетенция- системное мышление; умение отыскивать, обрабатывать, интерпретировать и представлять информацию; критическое мышление; развитые навыки планирования; умение анализировать проблемы; способность и желание обучаться.

3. Информационная компетенция - основной целью формирования информационной компетентности является развитие информационной культуры профессионала. Под информационной культурой понимается составная часть базисной культуры личности как системной характеристики человека, позволяющей ему эффективно участвовать во всех видах работы с информацией: получение, накопление, кодирование, переработка любого рода, создание на этой основе качественно новой информации, ее передача, практическое использование [4]. Состоит из:

- владения навыками работы с различными источниками информации: книгами, учебниками, справочниками, энциклопедиями, каталогами, словарями, CD-Rom, Интернет;

- самостоятельного поиска, систематизирования, анализа и отбора необходимой для решения учебных задач информации, организовывать, преобразовывать, сохранять и передавать ее;

- ориентации в информационных потоках, умении выделять в них главное и необходимое.

4. Коммуникативная компетентность - это владение сложными коммуникативными навыками и умениями, формирование адекватных умений в новых социальных структурах, знание культурных норм и ограничений в общении, знание обычаев, традиций, этикета в сфере общения,

соблюдение приличий, воспитанность, ориентация в коммуникативных средствах, присущих национальному, сословному менталитету и выражающихся в рамках данной профессии. В состав коммуникативной компетенции входят следующие виды компетенций:

- лингвистическая (языковая) компетенция – это владение знанием о системе языка, о правилах функционирования единиц языка в речи и способность с помощью этой системы понимать чужие мысли и выражать собственные суждения в устной и письменной форме;

- речевая компетенция означает знание способов формирования и формулирования мыслей с помощью языка, а также способность пользоваться языком в речи;

- социальная компетенция проявляется в желании и умении вступать в коммуникацию с другими людьми, в способности ориентироваться в ситуации общения и строить высказывание в соответствии с коммуникативным намерением говорящего и ситуацией.

5. Способность к трудоустройству - проявление своих личных качеств, знаний и профессиональных навыков при устройстве на работу:

- умение написать резюме;

- опыт в прохождении собеседования с работодателем;

- опыт в прохождении тестирования на собеседовании.

Такие компоненты вместе с показателями позволяют спрогнозировать уровень конкурентоспособности выпускника в будущем еще на раннем этапе обучения.

Определение лингвистических переменных.

Лингвистические переменные – переменные, которые нельзя описать с помощью математического языка, т.е. им сложно придать точную (объективную) количественную оценку. Например, понятия «малый» и «средний» (говоря о бизнесе), «высокая» или «низкая» (о процентной ставке) не имеют четкой границы и не могут быть представлены точным математическим описанием.

Согласно Л. Заде, лингвистической переменной называется такая переменная, значениями которой являются слова или предложения естественного языка. В литературе нечетких множеств лингвистические переменные также называют терм-множествами (от англ. term – называть).

В системах нечеткого вывода лингвистические переменные, которые используются в нечетких высказываниях подусловий нечетких продукций, часто называют входными лингвистическими переменными, а переменные, которые используются в нечетких высказываниях подзаключений правил нечетких продукций, часто называют выходными лингвистическими переменными.

Таким образом, при задании или формировании правил нечетких продукций необходимо определить множество входных и выходных лингвистических переменных.

Входная или выходная лингвистическая переменная считается заданной или определенной, если для нее определено базовое термножество с соответствующими функциями принадлежности каждого термина [3].

Конкурентоспособность формируется из четырех компетенций: профессиональная, личностная, информационная, коммуникативная, и способность к трудоустройству, каждая из которых формируется с помощью трех компонентов.

Примем обозначение компетенций как $K_i, i = 1 \dots 5$, где i – номер компетенций слева на право. Тогда компоненты компетенций примут следующие обозначения: $K_{i,j}, i = 1 \dots 5, j = 1 \dots 3$, где j – номер компоненты слева на право. В качестве входных лингвистических переменных, мы будем рассматривать показатели компонентов формирования компетенций $K_{11}, K_{12} \dots K_{53}$. Т.к. формирование оценки конкурентоспособности с помощью показателей компетенция, дадут нам неполный результат. В качестве выходных лингвистических переменных, мы будем использовать показатели компетенций K_1, K_2, K_3, K_4, K_5 .

Выбор алгоритма нечеткого логического вывода. Этапы нечеткого вывода могут быть реализованы неоднозначным образом: агрегирование может проводиться не только в базисе нечеткой логики Заде, активизация может проводиться различными методами нечеткой композиции, на этапе аккумуляции объединение можно провести отличным от тах-объединения способом, дефаззификация также может проводиться различными методами. Таким образом, выбор конкретных способов реализации отдельных этапов нечеткого вывода определяет тот или иной алгоритм нечеткого вывода. В настоящее время остается открытым вопрос критериев и методов выбора алгоритма нечеткого вывода в зависимости от конкретной технической задачи [3]. Наибольшее применение среди существующих алгоритмов нечеткого вывода получили алгоритмы Мамдани, Цукамото, Ларсена, Сугено, которые отличаются друг от друга применяемыми в них методами реализации этапов нечеткого вывода.

Алгоритм Мамдани наиболее подходит для решения задачи оценивания уровня сформированности компонент компетенций, так как применяемые в нем методы адекватно отражают особенности рассуждений преподавателя, оценивающего качественные параметры результатов обучения студента. Сформированная нечеткая база знаний содержит правила, где посылки объединены при помощи логических связок «И», а заключения имеют вид нечетких термов. Этот факт также свидетельствует в пользу использования в качестве алгоритма нечеткого вывода алгоритма Мамдани. Рассмотрим более подробно методы выбранного алгоритма [5].

- формирование базы правил системы нечеткого вывода осуществляется в виде упорядоченного согласованного списка нечетких продукционных правил в виде «IF A THEN B », где антецеденты ядер правил нечеткой продукции построены при помощи логических связок «И», а консеквенты ядер правил нечеткой продукции простые;

- фаззификация входных переменных осуществляется описанным выше способом, так же, как и в общем случае построения системы нечеткого вывода;

- агрегирование подусловий правил нечеткой продукции осуществляется при помощи классической нечеткой логической операции «И» двух элементарных высказываний $A, B : T(A \cap B) = \min\{T(A); T(B)\}$;

- активизация подзаклучений правил нечеткой продукции осуществляется методом \min -активизации $\mu(y) = \min\{c; \mu(x)\}$, где $\mu(x)$ и c – соответственно функции принадлежности термов лингвистических переменных и степени истинности нечетких высказываний, образующих соответствующие следствия (консеквенты) ядер нечетких продукционных правил;

- аккумуляция подзаклучений правил нечеткой продукции проводится при помощи классического для нечеткой логики \max -объединения функций принадлежности $x \in X \mu_{AB}(x) = \max\{\mu_A(x); \mu_B(x)\}$;

- дефаззификация проводится методом центра площади.

База правил нечеткого вывода оценки уровня данной компоненты, представлена девятью правилами вида «если-то», содержащими подусловия в виде высказываний первого вида « β есть α », объединенные логической связкой «И». Для всех правил сформирована матрица знаний.

Цель дефаззификации заключается в том, чтобы, используя результаты аккумуляции всех выходных лингвистических переменных, получить обычное количественное значение каждой из выходных переменных, которое может быть использовано специальными устройствами, внешними по отношению к системе нечеткого вывода.

В работе в качестве метода дефаззификации используется метод центра тяжести, которому соответствует формула

$$y = \frac{\text{Max} \int x \cdot \mu(x) dx}{\text{Max} \int \mu(x) dx},$$

где y – результат дефаззификации; x – переменная, соответствующая выходной лингвистической переменной ω , $\mu(x)$ – функция принадлежности нечеткого множества, соответствующего выходной переменной ω , после этапа аккумуляции, Min и Max – левая и правая точки интервала носителя нечеткого множества рассматриваемой выходной переменной ω .

Апробация разработанного алгоритма оценивания конкурентоспособности студентов. Описанный алгоритм оценивания конкурентоспособности студентов был реализован в мощном пакете программ fuzzy ТЕСНи применен для данных об успеваемости студентов направления подготовки бакалавров (по итогам 2015 года): «Управление в технических системах» (9 человек).

На рис. 2 представлена модель оценивания уровня сформированности конкурентоспособности выпускника.

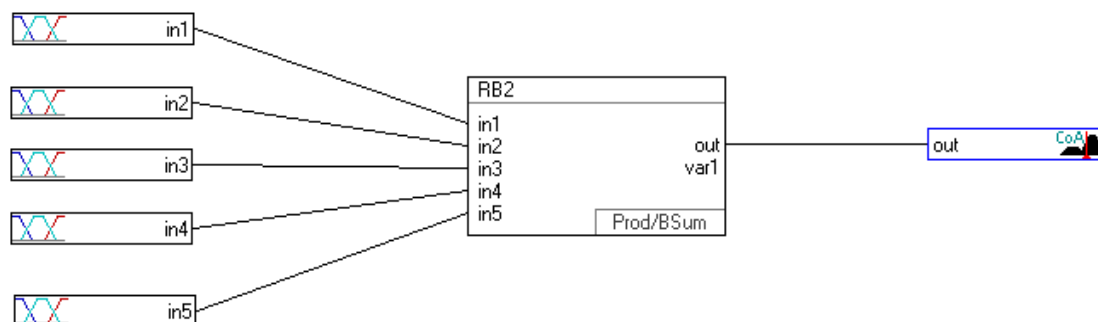


Рис. 2. Модель оценивания уровня сформированности конкурентоспособности выпускника

На вход подаются пять переменные: уровень сформированности профессиональной компетенции, уровень сформированности личностной компетенции, уровень сформированности информационной компетенции, уровень сформированности коммуникативной компетенции и уровень сформированности способности к трудоустройству компетенции. Функции принадлежности для терм-множеств, заданных для входных лингвистических переменных представлены в колоколообразной форме (рис. 3).

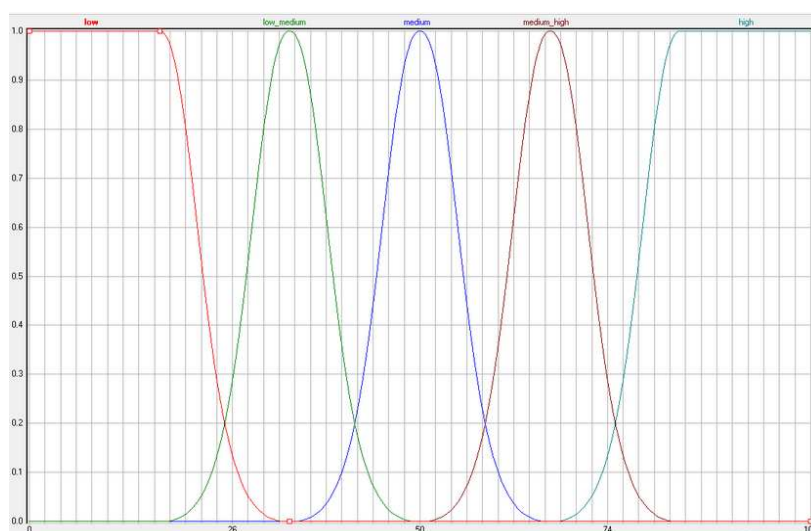


Рис. 3. Функции принадлежности для терм-множеств, заданных для входных лингвистических переменных

Зададим базу разработанных знаний в виде списка нечетких продукционных правил в виде «IF A and B and C and D and E THEN F», указанных на рис. 4, для определения уровня конкурентоспособности выпускника.

#	IF					THEN	
	in1	in2	in3	in4	in5	DoS	out
1	low	low	low	low	low	1.00	low
2	low	low	low	low	medium	1.00	low
3	low	low	low	low	high	1.00	low
4	low	low	low	medium	low	1.00	low
5	low	low	low	medium	medium	1.00	low
6	low	low	low	medium	high	1.00	low_medium
7	low	low	low	high	low	1.00	low
8	low	low	low	high	medium	1.00	low_medium
9	low	low	low	high	high	1.00	low_medium
10	low	low	medium	low	low	1.00	low
11	low	low	medium	low	medium	1.00	low
12	low	low	medium	low	high	1.00	low_medium
13	low	low	medium	medium	low	1.00	low
14	low	low	medium	medium	medium	1.00	low_medium
15	low	low	medium	medium	high	1.00	low_medium
16	low	low	medium	high	low	1.00	low_medium
17	low	low	medium	high	medium	1.00	low_medium
18	low	low	medium	high	high	1.00	medium
19	low	low	high	low	low	1.00	low
20	low	low	high	low	medium	1.00	low_medium
21	low	low	high	low	high	1.00	low_medium
22	low	low	high	medium	low	1.00	low_medium
23	low	low	high	medium	medium	1.00	low_medium
24	low	low	high	medium	high	1.00	medium
25	low	low	high	high	low	1.00	low_medium
26	low	low	high	high	medium	1.00	medium
27	low	low	high	high	high	1.00	medium
28	low	medium	low	low	low	1.00	low
29	low	medium	low	low	medium	1.00	low
...
...
3114	high	high	medium	high	medium	1.00	medium_high
3115	high	high	medium	high	high	1.00	high
3116	high	high	high	low	low	1.00	medium
3117	high	high	high	low	medium	1.00	medium_high
3118	high	high	high	low	high	1.00	medium_high
3119	high	high	high	medium	low	1.00	medium_high
3120	high	high	high	medium	medium	1.00	medium_high
3122	high	high	high	medium	high	1.00	high
3123	high	high	high	high	low	1.00	medium_high
3124	high	high	high	high	medium	1.00	high
3125	high	high	high	high	high	1.00	high

Рис. 4. Список нечетких продукционных правил

Алгоритмом работы системы нечеткого логического вывода является алгоритм Мамдани. Функции принадлежности для терм-множеств, заданных для выходных лингвистических переменных представлены в колоколообразной форме. Для дефаззификации выходных лингвистических переменных используем метод центра площади, результат представлен на рис. 5. FuzzyTECH представляет возможное множество решений выходной лингвистической переменной от двух входных лингвистических переменных (рис. 6).

Исследовав экспертные данные по группе студентов, на основе данного алгоритма можно оценить, каким уровнем конкурентоспособности обладает студент. Полученные результаты представлены на рис. 7 и выглядят следующим образом:

Студент №1: Уровень конкурентоспособности – высокий (81,798 %).
Студент №2: Уровень конкурентоспособности – средний (49,918 %).
Студент №3: Уровень конкурентоспособности – высокий (87,876 %).
Студент №4: Уровень конкурентоспособности – средний (49,948 %).
Студент №5: Уровень конкурентоспособности – выше среднего (66,27%).
Студент №6: Уровень конкурентоспособности – высокий (93,572 %).
Студент №7: Уровень конкурентоспособности – выше среднего (66,228%).
Студент №8: Уровень конкурентоспособности – высокий (92,974 %).
Студент №9: Уровень конкурентоспособности – высокий (93,566 %).

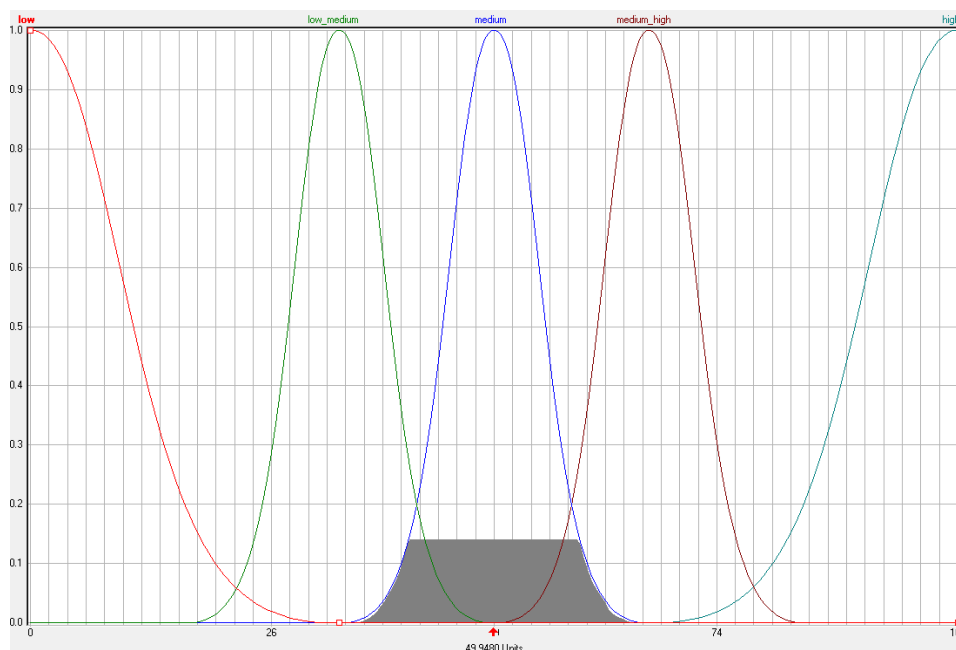


Рис. 5. Результат дефаззификации

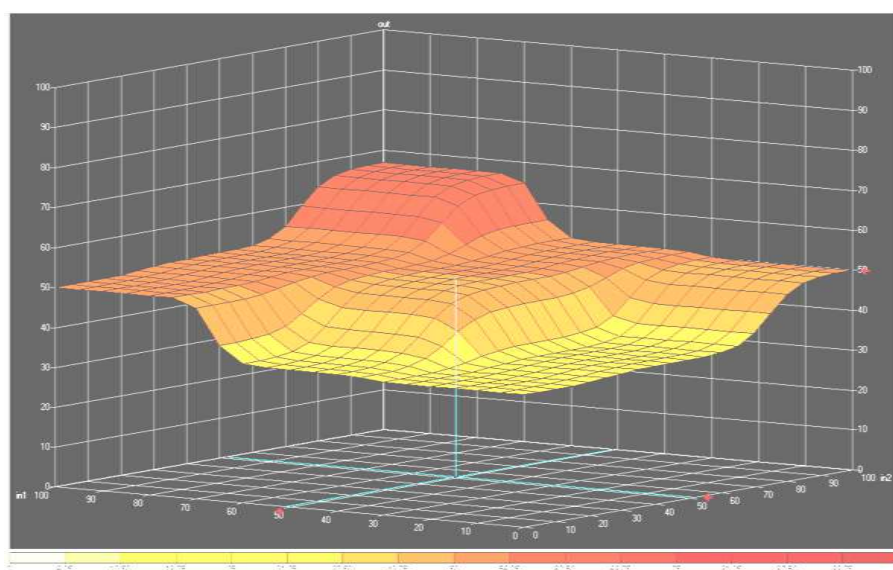


Рис. 6. Зависимость выходной переменной от двух входных переменных



Рис. 7. Результаты оценивания конкурентоспособности выпускников

На основе полученных результатов можно сделать вывод, что у группы из 9 человек уровень конкурентоспособности выглядит следующим образом:

- высокий – 56 %;
- выше среднего – 22 %;
- средний – 22 %;
- ниже среднего – 0 %;
- низкий – 0 %.

Заключение. В данной работе были представлены ряд показателей, характеризующих уровень сформированности конкурентоспособности. Данные показатели не всегда можно оценить количественными шкалами, так как они описываются качественно, в терминах лингвистических переменных. Разработаны также алгоритмы нечеткого вывода, позволяющие вести оценивание на основе качественной информации. Разработанные алгоритмы делают возможной автоматизацию процесса оценивания конкурентоспособности.

Предполагается, что при проведении процедуры оценки на протяжении нескольких лет могут быть собраны дополнительные материалы для корректировки компонент выделенных компетенций.

Корректность применения предложенного метода обусловлена рядом ограничений, при нарушении которых следует считать, что рассматриваемая задача переходит разряд плохо обусловленных и требует дополнительных исследований, например, в области социологии.

Список литературы

1. Ангеловский А.А. Формирование конкурентоспособности студентов в процессе профессиональной подготовки в вузе: автореф. дис. ... канд. пед. наук. Магнитогорск, 2004. 24 с.
2. Ефремова Н.Ф. Формирование и оценивание компетенций в образовании. Ростов-на-Дону: Аркол, 2010. 386 с.

3. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение для принятия приближенных решений. М.: Мир, 1976. 165 с.

4. Малахов Ю.А. Формирование инновационных компетенций студентов технических вузов // Управление интеллектуальной собственностью ИнВестРегион. 2009. № 3. С. 23-29.

5. Ротштейн А.П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечёткая логика, генетические алгоритмы, нейронные сети. Винница: УНИВЕРСУМ – Винница, 1999. 320 с.

Фомичев Александр Александрович, д-р физ.-мат. наук, проф., zoyafill@rambler.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет,

Филиппова Зоя Юрьевна, ведущий специалист отдела поддержки ИС, zoyafill@rambler.ru, Россия, Тула, ГАУ ТО «ЦИТ»

MODEL OF ESTIMATION OF COMPETITIVENESS OF GRADUATES

A.A. Fomichev, Z.Yu. Filippova

The model and algorithm of assessment of competitiveness of university graduates within competence-based approach are offered. The mechanism of indistinct outputs is the basis for the offered algorithm. The model and an algorithm are tested for student's group following the results of mastering of the program of a bachelor degree.

Key words: competence, competence-based model, linguistic variables, competitiveness, professional suitability.

Fomichev Alexander Aleksandrovich, doctor of physical and mathematical sciences, professor, zoyafill@rambler.ru, Russia, Tula, Tula State University,

Filippova Zoya Yurevna, leading expert of department of support IC, zoyafill@rambler.ru, Russia, Tula, GAU THAT "TsIT"

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ДЛЯ СИСТЕМ КОМПЛЕКСНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ В ПОЛЯРНЫХ РЕГИОНАХ

Н.А. Махутов, М.Ю. Куприков, В.Л. Балановский, Н.М. Куприков

Рассмотрены проблемы создания аппаратно-программных комплексов для систем комплексной безопасности объектов транспортной инфраструктуры в полярных регионах.

Ключевые слова: комплексная безопасность, деструктивное воздействие, аппаратно-программные комплексы, объекты транспортной инфраструктуры.

Глобальные климатические изменения наиболее сильно проявляются в Арктике, что открывает новые возможности для развития инфраструктуры и судоходства по трассе СМП. Состояние ледяного покрова, температурный режим приземного слоя воздуха и циркуляция атмосферы, в целом, являются ключевыми индикаторами ускоренного изменения арктической системы. Океанографические и метеорологические наблюдения вдоль трассы СМП непрерывно производились в прошлом, однако в настоящее время количество регулярных пунктов наблюдений значительно сократилось.

В связи с уменьшением площади распространения и толщины арктического ледяного покрова, в последние годы критически увеличилась частота возникновения особо опасных погодных явлений и достижения экстремальных значений теми или иными гидрометеорологическими характеристиками (локальные и глубокие циклоны, катастрофические наводнения, штормовые ветра и нагоны, зимние разрушения припая, критические объемы жидких или твердых осадков, зимние оттепели и т.п.).

Понимание происходящих процессов, оценки существующих рисков и надежный прогноз состояния окружающей среды в Арктике является основой для стратегии развития арктической инфраструктуры, разработки ресурсов полезных ископаемых, и социально-экономического развития, в целом. Для решения этих задач необходимо развитие системы мониторинга геофизической и гидрометеорологической обстановки в Арктике, являющихся одними из приоритетных задач Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации.

В последнее время ведущие государства мира осуществляют интенсивное совершенствование и внедрение передовых технологий в области радиоэлектроники и автоматизации, на базе которых создают современные системы и комплексы защиты и охраны государственно важных объектов и, в первую очередь, объектов транспортной инфраструктуры. Такой подход обеспечивает не только компенсацию количественных сокращений со-

става сил и средств охранных структур, но и позволяет повысить эффективность решения возложенных на них оперативно-служебных задач по физической защите объектов.

Технические средства с реализацией перспективных информационных технологий должны позволить в короткое время и с минимальными затратами решить задачу освещения обстановки на территории объекта транспортной инфраструктуры (ОТИ) в полярных регионах, в первую очередь, в целях принятия решения руководством всех уровней организации эксплуатирующей объект.

В условиях быстро меняющейся обстановки появляется необходимость оперативно анализа и обработки возрастающих информационных потоков для принятия эффективных решений. Для оперативного упреждения и противодействия деструктивным природным, техногенным факторам и актам незаконного вмешательства системы комплексной безопасности должны формировать на основе сведения об изменениях обстановки и состояния контролируемых объектов перечень управляющих воздействий. Это достигается с помощью повышения оперативности процесса анализа разнородных данных и их интеграции в единую и наглядную форму, отражающую изменения, происходящие в защищаемом объекте и его элементах.

Получить достоверные, а главное своевременные сведения о положении, состоянии и характере несанкционированных действий очень сложная задача в условиях повышенного уровня естественных и искусственных помех. Довольно часто, возникают случаи, при которых вывод из нештатной ситуации, перевод в безопасное состояние защищаемого объекта, который является динамической системой, требует оперативного и своевременного принятия решений, формируемых на основе результатов комплексного анализа поведения, корреляционных свойств совокупности критически важных контролируемых параметров и оценки возможных последствий его аномального функционирования. Существующий порядок сбора данных, их обработки для формирования результатов анализа причин возникновения, развития и исходов катастроф свидетельствует о том, что получение в реальном масштабе времени достаточной совокупности достоверных данных для оперативного выявления причин аномального функционирования и определения его последствий на основе идентификации и прогнозирования происходящих при самоорганизации нештатных ситуаций процессов деграционных изменений свойств элементов инфраструктуры ОТИ в полярных регионах и, следовательно, значений параметров, по которым оценивается состояние динамической системы при существующем методическом, программном и аппаратном обеспечении функционирования средств мониторинга затруднено и, в большинстве случаев, невозможно. Знания особенностей функционирования контролируемых ОТИ в полярных регионах различных типов, содержания требований по

оперативности и форме представления результатов анализа процессов самоорганизации нештатных ситуаций, предъявляемых к системам мониторинга, составляют основу для организации его проведения и интеллектуальной обработки результатов.

При этом необходимо иметь в виду, что прогнозирование развития обстановки является сложной задачей, поэтому большинство сведений, положенных в основу плана мероприятий по ликвидации последствий воздействий природных и техногенных факторов или актов незаконного вмешательства, могут и будут носить оценочный и предполагаемый характер. Руководство системой безопасности ОТИ в полярных регионах должно быть готово действовать в быстроменяющейся и крайне агрессивной среде, в очень сложной обстановке. Формирование и оперативное представление перечня организационно-технических мероприятий для минимизации последствий из-за возникающих нештатных ситуаций необходимо выполнить до того, как защищаемый объект перейдет в терминальное состояние. Также требует решения проблема обеспечения целевой дистанционной адаптации свойств бортовой (с использованием беспилотных летательных аппаратов и вертолетов) и наземной части аппаратно-программного комплекса при изменении условий функционирования защищаемых ОТИ в полярных регионах.

Информационные технологии реализуются аппаратно- программными комплексами включающими:

системы датчиков или устройств первичного сбора информации (видеокамер и т.п.), устанавливаемых на элементах, подсистемах объектов;

сети (проводные или беспроводные) соединяющие датчики с программными комплексами;

программные комплексы, осуществляющие обобщение, переработку и представление информации о состоянии объекта, выдающие рекомендации, управляющие воздействия, информацию в вышестоящие органы и службы.

Аппаратно-программный комплекс ОТИ в полярных регионах имеет следующую структурную схему рис. 1.

Структура и последовательность выполняемых процедур включает три этапа (рис. 2).

Одним из путей повышения уровня безопасности, повышения надежности функционирования оборудования для исключения аварий и катастроф, приводящих к взрывам, выбросам в атмосферу, разливам нефти и нефтепродуктов применительно к объектам транспортной инфраструктуры в полярных регионах служит разработка специализированного аппаратно-программного комплекса. Он обеспечивающий сбор, автоматизацию обработки результатов мониторинга обстановки на объекте транспортной инфраструктуры в полярных регионах, позволяет сформировать электронный

паспорт объекта, позволяющий оперативно определять факты изменения обстановки, ее «загрязнения», выявлять факты деструктивного воздействия, в том числе и целенаправленного, злонамеренного.



Рис. 1. Структурная схема аппаратно-программного комплекса ОТИ

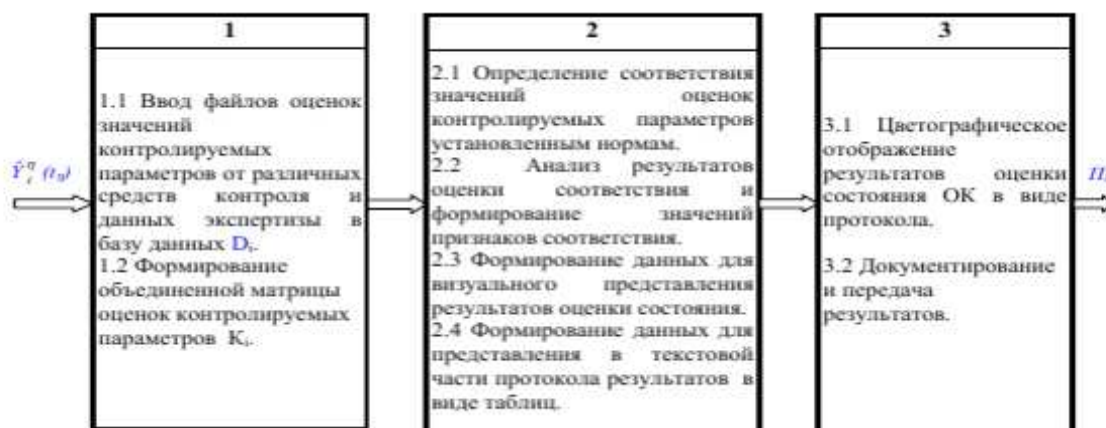


Рис. 2. Графический образ ОТИ в полярных регионах

Аппаратно-программный комплекс позволяет вести единую базу данных мониторинга критических элементов объектов транспортной инфраструктуры в полярных регионах, что позволяет:

- постоянно наращивать номенклатуру параметров мониторинга;
- постоянно добавлять новые объекты, расширяя информационное поле об объектах мониторинга;
- делать просмотр полученных результатов по любым критериям выборки;
- строить динамические модели анализа изменений результатов мониторинга во времени;

- строить аналитические модели, раскрывающие критические объекты, уровень отрицательного влияния которых превышает допустимые нормы;

- формулировать рекомендации к уменьшению влияния вредных факторов на экологию;

- применить новые технологии, в том числе и трехмерные, для отображения всех полученных результатов мониторинга, что даст возможность получать визуальную пространственную информацию о состоянии критических объектов.

Одним из решений является развертывание сети автономных придонных обсерваторий для мониторинга геофизической и гидрометеорологической обстановки на трассе Северного морского пути (СМП). Придонные обсерватории модульного типа будут представлять собой совокупность измерительных приборов, жестко закрепленных на морском дне в районах наиболее интенсивного судоходства на трассе СМП. Предполагаемая автономность работы обсерваторий (в зависимости от элементов питания) превысит один год. Передача информации будет осуществляться либо с помощью гидроакустических сигналов на проходящие мимо суда, либо через спутниковые каналы связи.

Базовая обсерватория будет состоять из датчиков температуры, солености, давления и позволит оценить океанографический режим в данном районе и характер морских приливов. Усовершенствованные версии, дополненные Допплеровскими измерителями течений и сонарами для слежения за ледяным покровом и ветровым волнением, позволят комплексно состояние и режим акватории, необходимые для навигационно-гидрографического и гидрометеорологического обеспечения судоходства на трассе СМП.

Комплекс выполняет обработку и управление средствами контроля различных подсистем безопасности, информационно-управляющих и диагностических систем. Он формирует и отображает результаты оценки соответствия состояния объекта заданным требованиям. При этом обеспечивается:

- оценка значений характеристик контролируемых элементов защищаемого объекта в масштабе времени близком к реальному;

- формирование и отображение результатов оценки состояния элементов объекта независимо от их типа, количества и физической сущности их параметров;

- комплексирование (интеграция) результатов оценки состояния элементов объекта экспертами, а также с помощью диагностических и систем безопасности в различные моменты времени;

- определение тенденций и динамичности изменения значений параметров и состояния элементов объекта;

нормирование показателей, что делает невозможным использование информации даже в случае ее несанкционированного получения – защита информации.

Состояние ОТИ в полярных регионах в различные моменты времени отражают отклонения показателей функционирования его отдельных систем от нормального уровня – рис. 3. На рисунке представлена одна из форм представления такой информации руководству ОТИ в полярных регионах. Архитектура описываемого аппаратно-программного комплекса позволяет вводить или модернизировать его частями. Центр тяжести работы по созданию системы комплексной безопасности ОТИ в полярных регионах, в случае использования данного комплекса, должен быть смещен от поставки, монтажа и пуско-наладки в сторону опытной эксплуатации, аналитической целенаправленной работы по «интеграции» системы комплексной безопасности в систему управления ОТИ в полярных регионах, который она защищает.

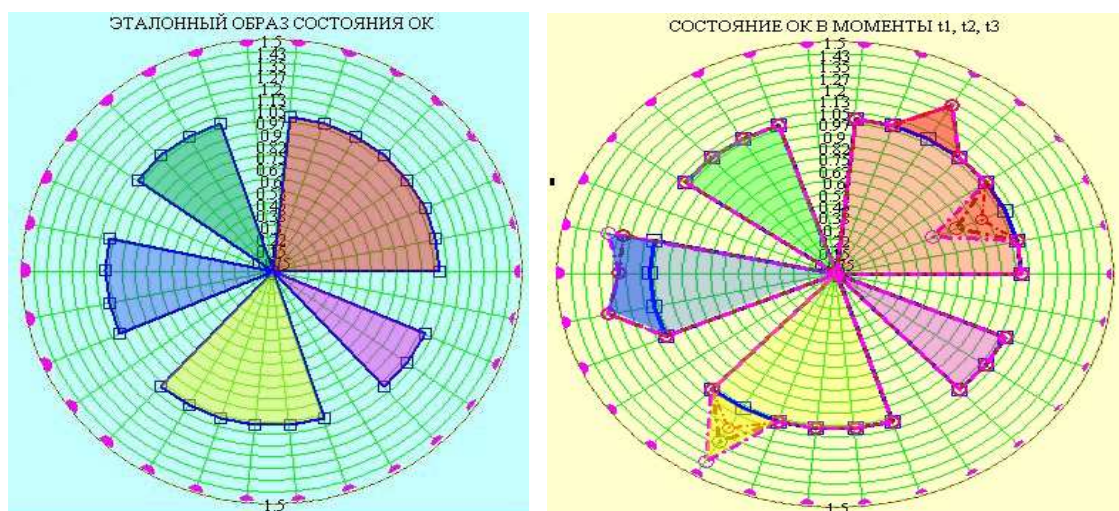


Рис. 3. Состояние ОТИ в полярных регионах в различные периоды времени

С помощью комплекса появляется возможность реализовать «человеко-машинную систему комплексной безопасности», в которой производится самодиагностика машинной составляющей, оценивается текущее психо-эмоциональное и соматическое состояние обслуживающего ее персонала. Анализ состояния персонала и характера принимаемых им решений в реальных критических ситуациях и в процессе систематически проводимых учений позволяет осуществлять профотбор, формировать программы по переподготовке и повышению квалификации. Эта работа производится не только в интересах организации эксплуатирующей систему комплексной безопасности, но и организаций эксплуатирующих защищаемый ОТИ в полярных регионах, а также сторонних юридических лиц осуществляющих на законных основаниях деятельность на его территории.

С помощью аппаратно-программного комплекса появляется возможность оперативно определять сходимость и производить уточнение отдельных положений ранее разработанных «оценок уязвимости объектов транспортной инфраструктуры», выработать рекомендации по масштабированию отдельных подсистем безопасности, разработанных в рамках планов обеспечения безопасности объектов транспортной инфраструктуры.

Предлагаемый аппаратно-программный комплекс необходимо рассматривать как основу системы активной безопасности (особенно ОТИ нефтегазового комплекса), которая создается для решения проблем защиты ОТИ в полярных регионах не только блокированием. Включение в его структуру подсистем, осуществляющих дозированное (на первом этапе не летальное) воздействие с помощью акустических, ультразвуковых, электромагнитных излучений, позволяет активно противодействовать деструктивным актам незаконного вмешательства.

Одной из важнейших проблем, возникающих при создании системы комплексной безопасности объекта, занимающего большую территорию или имеющего большую протяженность, является формирование эффективной проводной или беспроводной сети датчиков. При построении беспроводных сетей систем комплексной безопасности наиболее эффективно использование технологии «мобильной децентрализованной широкополосной самоорганизующейся локальной радиосети». К одному радиомодулю такой сети подключается до 5 датчиков, информация от них передается через соседние радиомодули, что позволяет реализовать в системе комплексной безопасности концепцию сетевидного управления.

Беспроводная телеметрическая сеть («умная пыль») отличается: надежностью, быстротой развертывания, самоорганизацией, масштабируемостью, временем передачи информации, пропускной способностью. Это обеспечивает цифровую пакетную передачу данных, речи, видео в режиме многоскачковой ретрансляции (по цепочке, по множеству альтернативных путей в зависимости от состояния сети), с возможностью режима радиомолчания и пониженного энергопотребления. Топология радиосети может быстро изменяться при движении, произвольном входе и выходе (абонентов-датчиков) из сети.

В результате ситуационный центр системы безопасности ОТИ в полярных регионах получает возможность выполнять обработку и управление средствами контроля различных подсистем безопасности, информационно-управляющих и диагностических систем. При этом он формирует и отображает результаты оценки соответствия состояния объекта заданным требованиям, а в результате обеспечиваются:

оценка значений характеристик контролируемых элементов защищаемого ОТИ в полярных регионах в масштабе времени близком к реальному;

формирование и отображение результатов оценки состояния элементов ОТИ в полярных регионах независимо от их типа, количества и физической сущности их параметров;

комплексирование (интеграция) результатов оценки состояния элементов ОТИ в полярных регионах экспертами, а также с помощью диагностических и систем безопасности в различные моменты времени;

определение тенденций и динамичности изменения значений параметров и состояния элементов ОТИ в полярных регионах;

нормирование показателей, делающее невозможным использование информации в случае ее несанкционированного получения.

Реализация дистанционного управления целевой коммутацией информационных потоков и сжатия данных телеконтроля может быть обеспечена на основе использования в базе знаний систем мониторинга специальных управляющих процедур. Такое решение обучаемой системы обработки данных позволяет не только обеспечить сжатие передаваемых между элементами системы мониторинга данных, но и оценивать соответствие, прогнозировать изменения состояния защищаемого объекта, логически формировать рекомендации и команды, необходимые для организации управления оперативным контролем, действиями сил и средств, направленных на минимизацию или недопущение возможного ущерба. Первоочередными направлениями повышения эффективности систем мониторинга ОТИ в полярных регионах являются:

- разработка и использование методов, обеспечивающих для идентификации быстротекущих процессов при самоорганизации чрезвычайных или нештатных ситуаций «скачкообразное» изменение процессов получения и преобразования разнородных данных до требуемого уровня адекватности в реальном масштабе времени моделей;

- обеспечение унификации для всех средств и датчиков процесса формализации и представления знаний об изменениях состояния защищаемого объекта и их последствиях для компактного отображения результатов мониторинга;

- обеспечение защищенности результатов мониторинга от несанкционированного вскрытия.

«Скачкообразное» изменение в реальном масштабе времени уровня адекватности модели преобразования информации обеспечивает сокращение времени оценивания состояния защищаемого объекта и может быть достигнуто использованием адаптивных методов. Эти методы позволяют минимизировать времени или полностью устранить ожидания в очереди на обработку, а также не допускают возникновения информационных конфликтов, как в аппаратно-программных комплексах мониторинга систем безопасности, так и в аппаратно-программных комплексах систем управления самого ОТИ в полярных регионах.

Одним из примеров научных задач фундаментального и прикладного значения, является проблема закисления вод арктических морей, которая является следствием увеличения выбросов углекислого газа в атмосферу, а также локальные выбросы метана с морского дна. Закисление акваторий – одна из наиболее актуальных угроз состоянию арктической экосистемы и биологическому разнообразию в будущем. Также, использование измерителей содержания метана и углекислого газа в районах обсерваторий может быть использовано для подтверждения углеводородных запасов (нефть, газ, газовые гидраты) на шельфах арктических морей вдоль трассы СМП. Таким образом, использование сети обсерваторий не только способствует развитию навигационно-гидрографического и гидрометеорологического обеспечения судоходства и оценки экологической обстановки на трассе СМП, но и внесет вклад в комплексное изучение континентального шельфа и его углеводородных ресурсов.

Организовать такую систему можно только с использованием новейших «know-how», вобравших в себя все последние отечественные и зарубежные достижения в области приборостроения, систем глобальной навигации ГЛОНАСС и систем спутниковой связи, научно-методические разработки ведущих отечественных школ в области океанологии, метеорологии и взаимодействия океана и атмосферы.

Обсерватории можно сформировать из как продукции и разработок российских НИИ (НИИ Атолл, НИИ Тайфун, МКБ Компас и др.), так и используя «черные ящики» иностранного производства.

В качестве связующего звена между существующими и разрозненными аппаратными комплексами и предполагаемым к установке в заполярье предлагается использовать информационно-аналитический программный комплекс локального мониторинга объектов окружающей среды (Ай-колобок), совместной разработки ГНЦ Арктический и Антарктический НИИ, НИУ «Московский авиационный институт» и малого инновационного предприятия ООО «Гагаринский старт».

Разработка обсерваторий предполагает использование измерительных приборов отечественного и зарубежного производства, в то время как интеграция оборудования с помощью специально разработанного интегрирующего кластера, разработка соответствующего программного обеспечения и информационно-аналитической платформы будут выполнены командой АйКолобок.

Основные эффекты при интеграции разнородных данных контроля состояния ОТИ в полярных регионах:

1. Обеспечивается унификация и компактность представления результатов оценки состояния ОТИ в полярных регионах по всем видам контроля независимо от количества, типов и физической сущности характеристик, единиц измерения и ведомственной принадлежности средств контроля и управления;

2. Снижается уровень требований по пропускной способности к средствам информационного обмена и уменьшается загрузка линий связи для передачи данных о состоянии и команд управления;

3. Обеспечивается комплексная оценка соответствия состояния ОТИ в полярных регионах установленным нормам при различных видах контроля в масштабе времени, близком к реальному;

4. Обеспечивается повышение точности распознавания состояния и определения причин аномального функционирования элементов ОТИ в полярных регионах, как объекта контроля;

5. Обеспечивается сопряжение существующих и перспективных информационно-управляющих ведомственных систем (ФСБ, МВД, МЧС и т.п.);

6. Минимизируется влияние человеческого фактора на достоверность представляемой информации в процессе формирования результатов контроля.

С самого начала необходимо рассматривать аппаратно-программный комплекс в части решения проблем физзащиты не как основу пассивной системы безопасности, которая осуществляет только блокирование. Включение отдельных элементов дозированного (на первом этапе воздействия нелетального) воздействия с помощью акустических, ультразвуковых, электромагнитных систем позволяют преобразовать ее из пассивной в активную.

Первоначальные планы по мере проведения операции по активному противодействию несанкционированному воздействию могут и должны будут подвергаться существенной корректировке. На практике это означает, что данные обстановки, полученные из различных источников, должны быть переданы на ситуационный пункт управления защищаемого объекта, там восприняты, отображены на карте, проанализированы и на основании этих данных принято решение, уточняющее (или в корне меняющее) задачи по активному нанесению удара с применением нелетального оружия и устранению последствий несанкционированного воздействия. Потом эти же данные обстановки вместе с уточненными задачами должны быть доведены до руководителей охранных подразделений, действующих на территории объекта, МЧС, ФСБ, МВД и т.п. Те, в свою очередь, должны выработать свои решения, довести их до руководителей групп и т.д. План такой операции по определению не может быть разработан заранее. Динамичность изменений обстановки в процессе выполнения плана по ликвидации последствий несанкционированных воздействий является характерной чертой работы всех уровней иерархии ситуационного центра ОТИ в полярных регионах.

Рассмотренные выше технические решения позволяют создавать как временные рубежи охраны ОТИ в полярных регионах, так и масштабировать существующие. Усиленная таким образом инфраструктура позво-

ляет осуществить активное противодействие природным и техногенным факторам, а также надежную охрану и вести эффективную борьбу с актами незаконного вмешательства.

Список литературы

1. Производственные системы с искусственным интеллектом/ Р.А.Алиев [и др.]. М.: Радио и связь, 1990. 264 с.
2. Балановский Л.В., Головин Д.Л., Сарылов О.В. Создание системы электромагнитной безопасности технических систем для аэрокосмических комплексов Российской Федерации// Качество и жизнь. 2010. №4. С. 19 - 22.
3. Везенов В.И., Новиков Ю.А. Организация вычислительного процесса в системах сбора измерительной информации// Информационные технологии. 2007. №1. С. 69-73.
4. Каазик Ю.Я. Математический словарь. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. 336 с.
5. Малинецкий Г.Г. Математические основы синергетики: Хаос, структуры, вычислительный эксперимент. Изд.5-е. М.: Изд-во ЛКИ, 2007. 312 с.
6. Острейковский В.А., Швыряев Ю.В. Безопасность атомных станций. Вероятностный анализ. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. 352 с.
7. Новейшие методы обработки изображений/ А.А.Потапов, Ю.В.Гуляев, С.А.Никитов, А.А.Пахомов, В.А.Герман. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. 496 с.
8. Система автоматизированного контроля состояния потенциально опасных объектов Российской Федерации в интересах обеспечения защиты от техногенных, природных и террористических угроз: пат. 2296421 РФ. МПК Н 04 В 7/185, 2007.
9. Способ анализа состояния многопараметрического объекта или процесса: пат. 2138849 РФ. МПК G06F19/00, 1999.
10. Чернышов А.В. Система ввода, обработки и документирования измерительной информации рабочего места контроля бортовой телеметрической аппаратуры// Информационные технологии. 2007. №2. С. 58-60.

Махутов Николай Андреевич, д-р техн. наук, проф., руководитель РГ «Риск и безопасность» при Президенте РАН, член-кор. РАН, kuprikov@russianpolar.ru, Россия, Москва, Российская академия наук,

Куприков Михаил Юрьевич, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой, kuprikov@russianpolar.ru, Россия, Москва, Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет),

Балановский Владимир Леонидович, зам. Председателя комитета Московской торгово-промышленной палаты по комплексной безопасности, президент проблемного отделения «Комплексная безопасность» Академии проблем качества, действ. член АПК и ВАНКБ, kuprikov@russianpolar.ru, Россия, Москва, Академия проблем качества,

Куприков Никита Михайлович, канд. техн. наук, ст. науч. сотр. Россия, Москва, Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет), Директор, kuprikov@russianpolar.ru, Россия, Москва, АНО Научно-информационный центр «Полярная инициатива»

HARDWARE-SOFTWARE COMPLEXES FOR INTEGRATED SECURITY SYSTEMS OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE FACILITIES IN POLAR REGIONS

N.A. Makhutov, M.Y. Kuprikov, V.L. Balanovskiy, N.V. Kuprikov

This article discusses the problems of creating hardware and software systems for complex security systems of transport infrastructure facilities in the polar regions.

Key words: integrated security, destructive impact, hardware-software complexes, transport infrastructure facilities.

Makhutov Nikolay Andreevich, doctor of technical science, professor, the corresponding member RAS, head of the WG "Risk and security" under the President of the RAS, kuprikov@russianpolar.ru, Russia, Moscow, Russian Academy of Sciences,

Kuprikov Mikhail Yuryevich, doctor of technical sciences, professor, head of Department, kuprikov@russianpolar.ru, Russia, Moscow, Moscow Aviation Institute (National Research University),

Balanovsky Vladimir Leonidovich, Deputy Chairman of the Committee of the Moscow chamber of Commerce and industry on integrated security, the President of the troubled branches of "Comprehensive security" of the Academy of quality problems and actions. member of APK and BANKB, kuprikov@russianpolar.ru, Russia, Moscow, Academy of quality problems,

Kuprikov Nikita Mikhailovich, candidate of technical science, senior researcher, kuprikov@russianpolar.ru, Russia, Moscow, Moscow aviation university (National research university), director, kuprikov@russianpolar.ru, Russia, Moscow, ANO SRC «Polar initiative»

МОДЕЛЬ ОЦЕНИВАНИЯ ОПЕРАТИВНОСТИ ОБЛАЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ С УЧЕТОМ ВИРТУАЛИЗАЦИИ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

С.Е. Ададуров, С.В. Калининченко, В.А. Лохвицкий, А.Д. Хомоненко,
В.В. Яковлев

Предлагается подход к оцениванию оперативности функционирования узлов распределенной обработки данных (облачных вычислений) с учетом виртуализации и затрат на обеспечение информационной безопасности. Для этого используется модель многоканальной не Марковской системы массового обслуживания (СМО) с «разогревом». При организации облачных вычислений под «разогревом» могут пониматься: аутентификация пользователя, установление соединения с базой данных, дешифрование данных, кэширование при запросах к базе данных, загрузка виртуальных машин и т.д. Предполагается использование варианта облачных вычислений SaaS (Software as a Service). Приводятся примеры задания исходных данных и численного расчета оперативности обработки информационных запросов в узле облачной системы с помощью модели многоканальной не Марковской СМО с «разогревом».

Ключевые слова: модель системы массового обслуживания с «разогревом», учет влияния виртуализации, оперативность облачных вычислений, распределенная обработка данных.

Одним из основных аспектов при создании комплексных автоматизированных информационных систем (КАИС) военного назначения является создание эффективной информационной инфраструктуры (ИИ), обеспечивающей функционирование и развитие информационного пространства всех систем и подсистем, задействованных в процессе управления силами и средствами Вооруженных Сил Российской Федерации [1].

Информационная инфраструктура КАИС представляет собой сложную распределенную организационно-техническую систему, для которой актуальными остаются вопросы обеспечения эффективности ее функционирования [1].

Повышение эффективности использования информационных систем (ИС) может достигаться путем перехода к облачным вычислениям, которые являются одной из важнейших форм распределенной обработки данных [2, 3]. Облачные вычисления позволяют централизовать управление вычислительными ресурсами и оптимизировать их потребление по сравнению с традиционными схемами. При этом на первый план выступают такие проблемы, как производительность виртуальных сред и ограничения пропускной способности сети, а также защита передаваемых данных [2, 4].

В настоящей статье рассматривается задача оценивания оперативности узлов облачных вычислений с учетом затрат на обеспечение информационной безопасности ИС при виртуализации, в том числе затрат на за-

грузку виртуальных машин. При этом нами предполагается использование варианта облачных вычислений SaaS (Software as a Service) – программное обеспечение как услуга [2, 3].

Для решения названной задачи предлагается использовать модели многоканальных систем и сетей массового обслуживания (СМО и СеМО), находящих широкое применение при исследовании оперативности функционирования сложных информационных систем. Неоднородную сеть обработки данных или вычислительное облако в целом можно представить как разомкнутую СеМО [6]. Серверы обработки данных с многоядерной архитектурой в модели сети целесообразно представлять в виде многоканальных СМО, при этом число каналов в СМО определяется числом процессоров. Известные модели СМО и СеМО не в полной мере позволяют учесть затраты на обеспечение информационной безопасности при организации облачных вычислений.

В настоящей статье для учета виртуализации в защищенных узлах облачной сети предлагается использовать модель многоканальной не Марковской СМО с «разогревом». В такой модели считается, что обслуживающий узел и поступающие на него заявки совмещены, а периоду «разогрева» (переключения, переналадки) придается физический смысл и математическая формализация [7, 9]. В частности, при использовании виртуализации под разогревом могут пониматься соответствующие действия, например: аутентификация пользователя, установление защищенного соединения с базой данных, дешифрование данных, кэширование при запросах к базе данных, загрузка виртуальных машин и т.д.

Используемая модель многоканальной не Марковской СМО с «разогревом» позволяет учесть указанные выше затраты на обеспечение информационной безопасности при организации облачных вычислений. Охарактеризуем кратко общую расчетную схему СМО с аппроксимирующими распределениями фазового типа и «разогревом».

1. Расчетная схема многоканальной СМО с «разогревом».

Представим процесс обработки задач в узле облачной системы с учетом затрат времени на обеспечение защищенности ИС и загрузку виртуальной машины, в виде процесса обслуживания заявок в многоканальной СМО с «разогревом». Общая схема функционирования такой СМО представлена на рис. 1.

В рассматриваемую систему (узел «облака») поступают заявки со средней интенсивностью λ . Обслуживание заявок осуществляется в одном из n каналов (процессоров многопроцессорной системы, на которой реализуется виртуальная машина) со средней интенсивностью μ .

Работа по обеспечению информационной безопасности и загрузке виртуальной машины характеризуется этапом (режимом) разогрева, средняя интенсивность которого равна μ_h . Этот режим активируется в случае прихода первой заявки в пустую систему. После завершения разогрева

система начинает обслуживать заявки из очереди в порядке их поступления. Приходящая заявка застаёт систему в режиме разогрева с вероятностью $(p_0 + p_h)$, и застаёт систему в режиме обслуживания (готовности к обслуживанию) с вероятностью $(1 - p_0 - p_h)$.

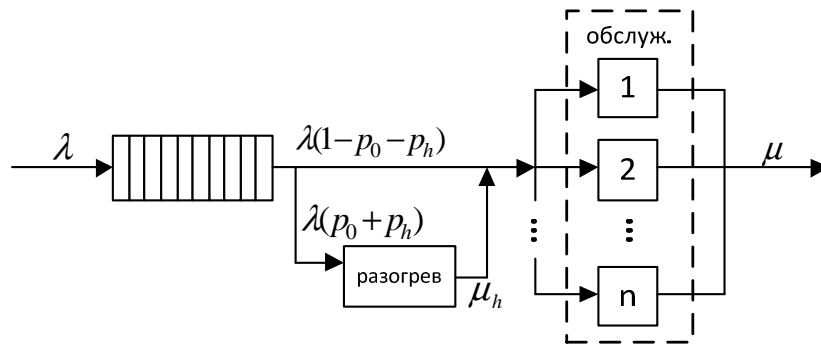


Рис. 1. Схема модели узла «облака» в виде СМО с разогревом

Кокс показал [8], что произвольное распределение длительности некоторой случайной величины можно представить смесью экспоненциальных фаз, или распределением фазового типа (гиперэкспоненциальным, Эрланга или Кокса). Достоинством такого представления является то, что при этом обеспечивается удобство сведения случайного процесса к Марковскому и легкость составления и решения системы уравнений, описывающей поведение соответствующей модели. Параметры аппроксимирующего распределения могут быть вещественными или комплексносопряженными [7, 8, 10, 13], при этом вероятности состояний исследуемой системы являются вещественными.

Примеры прикладного использования распределений фазового типа приводятся в [5, 7, 8, 10, 14]. Такой подход получил широкое применение при исследовании немарковских многоканальных систем массового обслуживания (см. например [7, 9, 10, 13]). В настоящей работе в качестве аппроксимирующего распределения допускается использование фазовых распределений с двумя фазами (гиперэкспоненциальное, Эрланга или Кокса).

Приведем формулы расчета параметров распределения H_2 по его первому начальному моменту \tilde{f}_1 и коэффициенту вариации v_A . Запишем выражения для математического ожидания и дисперсии:

$$\frac{a_1}{\lambda_1} + \frac{a_2}{\lambda_2} = \tilde{f}_1,$$

$$\left(\frac{a_1}{\lambda_1^2} + \frac{a_2}{\lambda_2^2} \right) - \left(\frac{a_1}{\lambda_1} + \frac{a_2}{\lambda_2} \right)^2 = \tilde{f}_2.$$

Тогда, полагая a_1 и a_2 известными, пользуясь соотношением $a_2 = 1 - a_1$ и выражая одно неизвестное через другое, находим выражения для обратных величин коэффициентов λ_1 и λ_2 :

$$\frac{1}{\lambda_1} = \frac{1}{a_1} \left(\tilde{f}_1 - \frac{1 - a_1}{\lambda_2} \right)$$

$$\frac{1}{\lambda_2} = \frac{1}{2 - a_1} \left(\tilde{f}_1 \pm \sqrt{\frac{(2 - a_1)(\tilde{f}_1^2(4 - a_1) - \tilde{f}_2 a_1) - 2}{2(1 - a_1)}} \right).$$

Решение для λ_2 при работе с вещественными параметрами берется с плюсом, а при работе с комплексно-сопряженными параметрами – берется с минусом.

Рассмотрим модель многоканальной СМО с «разогревом» типа $H_2/M/M_p/n$. Гиперэкспоненциальный H_2 -входящий поток можно интерпретировать как два параллельных пуассоновских потока со средними интенсивностями λ_1 и λ_2 соответственно. С вероятностью u_1 новая заявка прибывает в систему из первого потока через случайный интервал времени, распределенный по экспоненциальному закону с параметром λ_1 , а с вероятностью $u_2 = (1 - u_1)$ – из второго потока через интервал с параметром λ_2 . Диаграмма переходов между состояниями марковского процесса, описывающего систему $H_2/M/M_p/n$, представлена на рис. 2.

Справа от диаграммы указаны номера ярусов диаграммы, соответствующие числу заявок в системе. На нулевом ярусе система находится в одном из двух микросостояний, на всех последующих – в одном из четырех микросостояний. Два состояния нулевого яруса соответствуют номеру потока, из которого прибывает первая приходящая в пустую систему заявка.

С вероятностью u_1 следующая приходящая заявка прибывает из первого потока, с вероятностью u_2 – из второго потока. Две левые вертикальные ветви диаграммы соответствуют первому потоку, две правые – второму потоку.

При завершении режима разогрева система с интенсивностью μ_c переходит в соседнее левое микросостояние, соответствующее режиму обслуживания. По завершению обслуживания система переходит на вышележащий ярус с интенсивностью $\min(j, n)\mu$, где j – номер яруса, n – число каналов обслуживания. Переходы по обслуживанию и разогреву не влияют на номер потока, из которого придет следующая заявка. При полной занятости (на ярусах с номерами $j \geq n$) диаграмма стабилизируется на всех нижележащих ярусах.

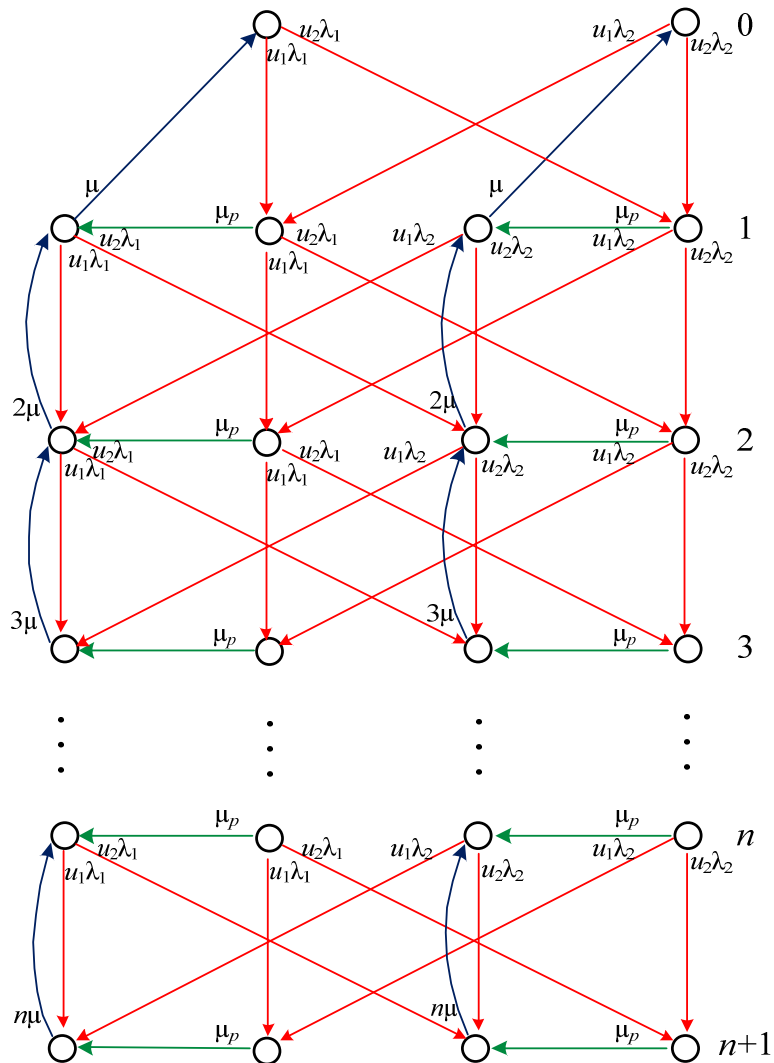


Рис. 2. Диаграмма переходов для системы с разогревом $H_2/M/M_p/n$

Расчетная схема для СМО с «разогревом» строится на основе итерационного метода расчета стационарного распределения числа заявок в системе, подробно рассмотрена в [9]. Обозначим через S_j множество всех микросостояний системы, когда на обслуживании находится ровно j заявок, а через σ_j – количество элементов в S_j . Определим матрицы переходов внутри системы: $A_j[\sigma_j \times \sigma_{j+1}]$ – в S_j (прибытие заявки), $B_j[\sigma_j \times \sigma_{j-1}]$ – в S_{j-1} (полное завершение обслуживания заявки), $C_j[\sigma_j \times \sigma_j]$ – в S_j (конец промежуточной фазы обслуживания), $D_j[\sigma_j \times \sigma_j]$ – ухода из состояний яруса j (диагональная матрица).

Матрицы переходов можно построить по диаграмме переходов между микросостояниями системы. Примеры матриц переходов для СМО с разогревом приводятся в [9].

Для СМО $H_2/M/M_p/n$ матрицы переходов будут иметь следующий вид:

$$A_0 = \begin{bmatrix} 0 & \lambda_1 u_1 & 0 & \lambda_1 u_2 \\ 0 & \lambda_2 u_1 & 0 & \lambda_2 u_2 \end{bmatrix}, A_j = \begin{bmatrix} \lambda_1 u_1 & 0 & \lambda_1 u_2 & 0 \\ 0 & \lambda_1 u_1 & 0 & \lambda_1 u_2 \\ \lambda_2 u_1 & 0 & \lambda_2 u_2 & 0 \\ 0 & \lambda_2 u_1 & 0 & \lambda_2 u_2 \end{bmatrix};$$

$$B_1 = \begin{bmatrix} \mu & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & \mu \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, B_j = \begin{bmatrix} \min(j,n)\mu & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \min(j,n)\mu & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}; C_j = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ \mu_c & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \mu_c & 0 \end{bmatrix};$$

$$D_0 = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 \\ 0 & \lambda_2 \end{bmatrix}, D_j = \begin{bmatrix} \lambda_1 + \min(j,n)\mu & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_1 + \mu_c & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_2 + \min(j,n)\mu & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \lambda_2 + \mu_c \end{bmatrix}, j = \overline{1, R}.$$

Введём векторы-строки $\gamma_j = \{\gamma_{j,1}, \gamma_{j,1}, \dots, \gamma_{j,\sigma_j}\}$ нахождения СМО в состоянии (j, i) , $j = 0, 1, \dots$ Тогда можно записать векторно-матричные уравнения баланса переходов между состояниями

$$\begin{aligned} \gamma_0 D_0 &= \gamma_0 C_0 + \gamma_1 B_1, \\ \gamma_j D_j &= \gamma_{j-1} A_{j-1} + \gamma_j C_j + \gamma_{j+1} B_{j+1}, \quad j = 1, 2, \dots \end{aligned} \tag{1}$$

Система уравнений (1) характеризуется высокой размерностью и стандартные методы решения систем линейных алгебраических уравнений оказываются неэффективными. Поэтому применяются численные методы – итерационный и матрично-геометрической прогрессии [3]. Метод матрично-геометрической прогрессии гораздо более трудоёмкий, хотя и обеспечивает скорейшую сходимость итераций. Ввиду отсутствия требований к оперативности и относительной простоте реализации в данной работе использовался итерационный метод расчёта СМО. Метод предложен японскими учёными Такахаши и Таками и детально проработан в работах [5, 10].

Положим, что $g_j = \gamma_j / p_j$, где p_j – суммарная вероятность наличия в системе ровно j заявок, и обозначим

$$x_j = p_{j+1} / p_j, \quad z_j = p_{j-1} / p_j. \tag{2}$$

Для многоканальных СМО с неограниченной очередью существенным является существование предельного вектора условных вероятностей микросостояний $g_\infty = \lim g_j$ при $j \rightarrow \infty$. Вычислительный алгоритм базируется на последовательном приближении к искомым величинам методом Гаусса-Зейделя:

$$g_j^{(m)} = z_j^{(m)} g_{j-1}^{(m)} A_{j-1} (D_j - C_j)^{-1} + x_j^{(m)} g_{j+1}^{(m-1)} B_{j+1} (D_j - C_j)^{-1} = \\ = z_j^{(m-1)} \beta_{1j} + x_j^{(m)} \beta_{2j},$$

где верхний индекс указывает номер итерации.

После прекращения итераций можно переходить к нахождению стационарных вероятностей. Из определения $\{x_j\}$ следуют равенства

$$P_{j+1} = P_j x_j, \quad (3)$$

Из закона сохранения заявок

$$\sum_{j=0}^{n-1} (n-j) p_j = n - b/a,$$

получаем формулу для вероятности свободного состояния системы

$$p_0 = \frac{n - b/a}{n + \sum_{j=1}^{n-1} (n-j) \prod_{i=0}^{j-1} x_i}.$$

Последующие вероятности для $j = \overline{1, N}$ определяются рекуррентно с помощью (3). При необходимости та же формула может быть применена для больших значений j с использованием $x_j = x_\infty$.

Практически все остальные характеристики СМО (средние времена ожидания начала обслуживания и пребывания заявки в системе, дополнительная функция распределения времени пребывания заявки в системе, средняя длина очереди и т. д.) могут быть получены на основе распределения вероятностей числа заявок с помощью подходов, предложенных в [5, 9, 15].

2. Характеристика виртуализации при облачных вычислениях

В широком смысле понятие виртуализации представляет собой сокрытие настоящей реализации какого-либо процесса или объекта от истинного его представления для того, кто им пользуется. В компьютерных системах виртуализация призвана абстрагировать программное обеспечение от аппаратной части.

В ее основе лежит возможность одного компьютера выполнять работу нескольких компьютеров благодаря распределению его ресурсов по нескольким средам. С помощью виртуальных серверов и виртуальных клиентов можно разместить несколько ОС и несколько приложений в едином местоположении. Таким образом, физические и географические огра-

ничения перестают иметь какое-либо значение. Помимо энергосбережения и сокращения расходов благодаря более эффективному использованию аппаратных ресурсов, виртуальная инфраструктура обеспечивает:

- высокий уровень доступности к информационным ресурсам;
- повышенную безопасность;
- более эффективную систему управления;
- повышенную оперативность утилизации систем хранения;
- снижение эксплуатационных затрат (настройка, восстановление в критических ситуациях);

Реальным инструментом пользователя оказывается программное обеспечение, которое лишь привязано к ПК, делая его промежуточным звеном информационной системы. Активно применяются «облачные» вычисления, когда пользователи имеют доступ к собственным данным, но не управляют и не задумываются об инфраструктуре, операционной системе и собственно программном обеспечении, с которым они работают.

Суммарные преимущества, получаемые от применения виртуализации:

- увеличение средней загрузки физического сервера, а, следовательно, и коэффициента использования аппаратуры, что, в свою очередь снижает общую стоимость;
- простота миграции виртуальных серверов с одного физического на другой при обновлении аппаратного обеспечения;
- простота восстановления работоспособности виртуального сервера при аппаратном сбое оборудования: виртуальную машину (ВМ) значительно проще перенести на другой физический сервер, чем переносить конфигурацию и ПО с одной физической машины на другую;
- существенное упрощение перевода пользователей или бизнес-процессов на новые ОС и новое ПО: использование ВМ позволяет делать это по частям, не затрагивая аппаратные ресурсы; кроме того, в процессе можно легко анализировать и исправлять ошибки, а также оценивать целесообразность внедрения «на лету»;
- поддержка в бизнес-процессах работы устаревшей ОС, от которой по каким-либо причинам в данный момент времени невозможно отказаться;
- возможность тестирования тех или иных приложений на ВМ, не требуя дополнительного физического сервера и т. д.

3. Задание исходных данных для модели с СМО «разогревом»

Для определения исходных данных моделирования рассмотрим вариант получения информации с учетом затрат на обработку запросов и обеспечение информационной безопасности в виртуальной среде.

Рассмотрим вопрос определения длительности обработки информационных запросов. Например, в [11] приводятся данные по трудоемкости информационных запросов в СУБД Oracle. На основе усреднения времени

выполнения основных операций при работе с этой СУБД (создание, удаление, модификация таблиц и выполнение транзакций), средняя длительность обработки информационных запросов T_i будет варьироваться в диапазоне 20...35 мс.

Рассмотрим вопрос определения длительности «разогрева» – времени, затрачиваемого на обеспечение информационной безопасности для равноудалённых серверов имеющих общий источник ресурсов. При организации информационных запросов к названной СУБД на примере данных из [11] усредненное время разогрева T_A , с учетом времени аутентификации, дешифрования данных и установления защищенного соединения с базой данных будет составлять 13...30 мс. Так как до начала аутентификации необходимо инициализировать виртуальную машину, следует учесть среднее время T_V на загрузку соответствующего сервера:

$$T_r = T_V + T_A.$$

С учетом отмеченного считаем, что время «разогрева» находится в диапазоне 12...25 секунд.

В качестве еще одного примера оценки затрат на обеспечение информационной безопасности отметим, что в [12] рассматривается задача построения и анализа дерева прохождения запроса к серверам и получения от них соответствующей информации с учетом требования оперативности для оценки виртуализации и защищенности данных. Здесь целесообразно рассматривать время обновления дерева обработки данных как длительность «разогрева» в модели многоканальной СМО, описывающей поведение при виртуализации узлов сети.

Очевидно, что если в облачной системе выполняется обработка информации в соответствии заданными алгоритмами для решения прикладных задач, то времена выполнения запросов и частоты их поступления будут существенно другими. Но сам подход к определению исходных данных для моделирования облачных «виртуальных» сетей, по сути, остается прежним.

4. Пример расчета характеристик оперативности обработки данных

Для примера выполним расчет системы $H_2/M/M_p/n$ численным методом с использованием H_2 -аппроксимации входящего потока заявок.

Исходные данные: число каналов обслуживания $n = 3$, среднее значение интервала между заявками входящего потока $a_1 = 0.4$, средняя интенсивность обслуживания заявок $\mu = 1$, средняя интенсивность разогрева системы $\mu_p = 2$. Параметры H_2 -распределения подбирались по трем моментам различных исходных распределений длительности «разогрева»:

- вырожденного D (коэффициент вариации $v = 0$);
- равномерного U на интервале $[0; 0,8]$ ($v \approx 0,577$);
- экспоненциального M ($v = 1$);

- гамма Γ с параметром формы 0,5 ($\nu \approx 1,41$);
- Вейбулла W с параметром формы 0,46 ($\nu = 2,5$).

В таблице представлены результаты расчета начальных моментов $\{w_i\}, i = 1, 3$, распределения времени ожидания.

Начальные моменты времени ожидания

$B(t)$	w_1	w_2	w_3
D	6.1144e-01	1.3282e+00	4.3974e+00
U	9.0089e-01	2.5153e+00	1.0399e+01
M	1.4203e+00	5.2447e+00	2.7001e+01
$\Gamma_{0,5}$	2.0339e+00	9.2623e+00	5.5762e+01
W	3.2467e+00	1.8781e+01	1.3268e+02

Вычислим дополнительную функцию распределения (ДФР) времени ожидания заявок в системе. Для этого представим ее в виде ДФР Вейбулла с поправочным многочленом [15] и построим график полученной аппроксимации (рис. 3).

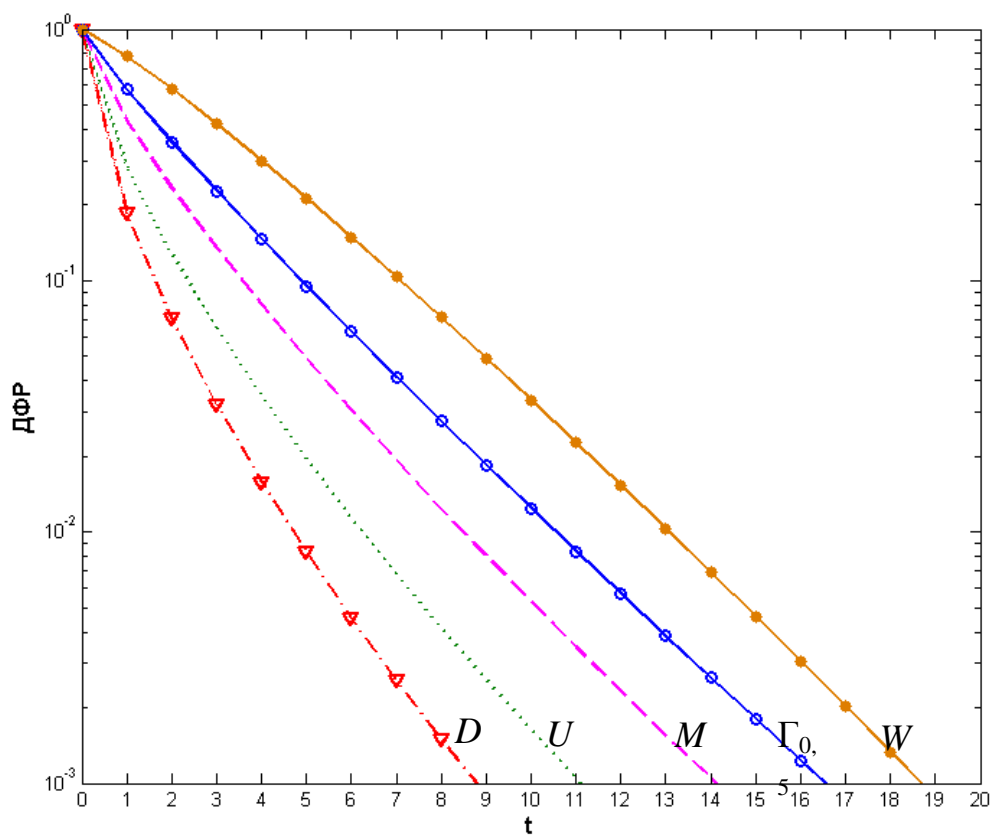


Рис. 3. ДФР распределения времени ожидания в СМО $H_2/M/M_p/n$ с «разогревом»

Из представленных результатов следует, что с увеличением коэффициента вариации распределения интервалов между заявками входящего потока среднее время ожидания возрастает. Приведенные зависимости позволяют судить о том, насколько оперативно выполняется обработка информационных запросов в облачной сети с учетом затрат на обеспечение защиты информации.

Заключение

Приведенные расчеты показывают, что использование предложенной в статье модели СМО $H_2/M/M_p/n$ с «разогревом» позволяет выполнить расчет вероятностно-временных характеристик оперативности информационных запросов пользователей в узлах облачной сети с учетом затрат на обеспечение информационной безопасности.

Дальнейшие исследования предполагается продолжить в направлении разработки моделей оценки оперативности распределенной обработки данных и облачных вычислений при учете временных затрат на выполнение других вспомогательных операций, а также затрат на обеспечение информационной безопасности.

Список литературы

1. История отечественной вычислительной техники. М.: ООО «Издательский дом «Столичная энциклопедия», 2017. 680 с.
2. Риз Дж. Облачные вычисления. Пер. с англ. СПб.: БХВ-Петербург, 2011. 288 с.
3. Яковлев В.В. Технологии виртуализации и консолидации информационных ресурсов. М.: Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2015. 156 с.
4. Утебов Д.Р., Белов С.В. Классификация угроз в системах управления базами данных // Вестник Астраханского государственного технического университета. 2008. № 1. С. 87-92.
5. Рыжиков Ю.И., Хомоненко А.Д. Расчет разомкнутых немарковских цепей с преобразованием потоков // Автоматика и вычислительная техника. 1989. № 3. С. 15-24.
6. Калинин С.В., Хомоненко А.Д. Модель оценки оперативности функционирования распределённых автоматизированных систем при интеграции данных. [Электронный ресурс] // Бюллетень результатов научных исследований: электронный научный журнал. СПб.: ПГУПС, 2012. Вып. 5 (4). С. 47-57.
7. Kolahi S.S. Simulation Model, Warm-up Period and Simulation Length of Cellular Systems// Second International Conference on Intelligent Systems, Modelling and Simulation (ISMS). 2011. P. 375 – 379.
8. Cox D.R. A use of complex probabilities in the theory of stochastic processes // Proc. Camb. Phil. Soc. 1955. Vol. 51. № 2. P. 313-319.

9. С.И.Гиндин, А.Д.Хомоненко, В.В.Яковлев, С.В.Матвеев. Модель оценивания оперативности распределенной обработки данных с учетом затрат на обеспечение информационной безопасности // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. 2013. № 4. С. 59-67.

10. Khomonenko A.D., Bubnov V.P. A Use of Coxian Distribution for Iterative Solution of $M/G/n/R \leq \infty$ queuing systems // Проблемы управления и теории информации. 1985. Т. 14. № 2. С. 143-153.

11. TPC Results Listing [Электронный ресурс] URL: <http://tpc.org/information/results.asp> (дата обращения: 20.09.2017).

12. Чечулин А.А. Методика оперативного построения, модификации и анализа деревьев атак // Труды СПИИРАН. 2013. № 3 (26). С. 40-53.

13. Khomonenko A., Gindin S. Performance evaluation of cloud computing accounting for expenses on information security // 18-th Conference of Open Innovations Association and Seminar on Information Security and Protection of Information Technology (FRUCT-ISPIT). 2016. P. 100-105.

14. Eremin A.S. A Queueing System with Determined Delay in Starting the Service // Интеллектуальные технологии на транспорте. 2015. № 4. С. 23-26.

15. Хомоненко А.Д. Распределение времени ожидания в системах массового обслуживания типа $GI_q/H_k/n/R \leq \infty$ // Автоматика и телемеханика. 1990. Вып. 8. С. 91-98.

Ададуров Сергей Евгеньевич, д-р техн. наук, советник генерального директора, sz_i_tpc@mail.ru, Россия, Санкт-Петербург, АО «Росжелдорпроект», Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I,

Калиниченко Сергей Владимирович, канд. техн. наук, заместитель начальника кафедры, sergeybka@yandex.ru, Россия, Санкт-Петербург, Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского,

Лохвицкий Владимир Александрович, канд. техн. наук, докторант, vovan296@mail.ru, Россия, Санкт-Петербург, Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского,

Хомоненко Анатолий Дмитриевич, д-р техн. наук, проф., khomon@mail.ru, Россия, Санкт-Петербург, Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского,

Яковлев Валентин Васильевич, д-р техн. наук, проф., jakovlev@mail.ru, Россия, Санкт-Петербург, Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I

**MODEL FOR ESTIMATION OF THE OPERATIVITY OF CLOUD COMPUTING
WITH THE ACCOUNT OF VIRTUALIZATION AND SECURITY**

*S.E. Adadurov, S.V. Kalinichenko, V.A. Lokhvitskii,
A.D. Khomonenko, V.V. Yakovlyev*

An approach to the assessment of efficiency of distributed data processing (cloud computing), including the cost of maintenance of information security (IS). For this purpose the use of multi-channel model is not a Markov queuing system (QS) with a "warm-up". When solving problems to ensure information security for cloud computing "heating" can be understood as: user authentication, establishing a secure connection to the database, data decryption, caching database query, download virtual machines, etc. Are examples of the initial data and numerical calculation efficiency of information requests in a node of cloud system using a not a Markov model of the multichannel queuing system with "warm-up".

Key words: model queuing systems with "warm-up" costs of information security, efficiency of cloud computing, distributed data processing.

Adadurov Sergey Evgenyevich, doctor of technical science, advisor to director general, czi_mpc@mail.ru, Russia, St. Petersburg, JSC Roszheldorproyekt, Emperor Alexander I Petersburg State Transport University,

Kalinichenko Sergey Vladimirovich, candidate of technical science, deputy chief of department, sergeybka@yandex.ru, Russia, St. Petersburg, Mozhaisky Military Space Academy,

Lokhvitsky Vladimir Aleksandrovich, candidate of technical science, vovan296@mail.ru, Russia, St. Petersburg, Mozhaisky Military Space Academy,

Khomonenko Anatoliy Dmitrievich, doctor of technical science, professor, khomon@mail.ru, Russia, St. Petersburg, Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, Mozhaisky Military Space Academy,

Yakovlev Valentin Vasilievich, doctor of technical science, professor, jakovlev@mail.ru, Russia, St. Petersburg, Emperor Alexander I Petersburg State Transport University

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАСЧЕТА СИЛЬФОННЫХ КОМПЕНСАТОРОВ НА ПРОЧНОСТЬ

С.А. Глебович

Анализируется напряжённно-деформированное состояние компенсаторов сильфонного типа с его реализацией в виде программного обеспечения для ЭВМ. Цель работы - рассмотреть программное обеспечение для расчёта сильфонных компенсаторов на прочность и его значение. Описано моделирование напряжённно-деформированного состояния СУЭ в среде инженерных приложений SolidWorks.

Ключевые слова: расчёт, сильфон, деформация, способ, малоциклового, модификация, программное обеспечение, элемент, напряжённно-деформированное состояние.

Сильфонные компенсаторы (рис. 1) находят все большее применение в разных отраслях промышленности. Их использование с целью компенсации температурных деформаций элементов систем предоставляет возможность увеличить рабочие характеристики оборудования, облегчить структуру производственных объектов, уменьшить габариты трубопровода, приобрести в результате значительный технический и финансовый эффект [2].



Рис. 1. Вид сильфонных компенсаторов

Большая часть неисправностей систем, появляющихся при их эксплуатации, как показывают статистические сведения, обусловлено усталостью металлов. Усталость металлов – это процесс постепенного накопления дефектов в материале при циклическом нагружении, приводящий к зарождению усталостной трещины, ее формированию и конечному разламы-

ванию материала. В настоящее время проблема малоциклового усталости элементов конструкций стала особо важной в связи с интенсификацией эксплуатации изделий в обстоятельствах высочайшей нагруженности при квазистационарном характере повторных постоянных силовых влияний. Разрушение при небольшом числе циклов нагружения появляется, как норма при развитых, повторяющихся, пластических деформациях в макрообъёмах. Эта его особенность определяет методы исследований, направленных на использование способов расчёта [3].

В большинстве случаев сильфонные компенсаторы подвергаются влияниям перегрузки с ограниченным числом циклов. Количество циклов нагружения обуславливается числом пусков, остановок и внезапных перемен режима работы оборудования за период эксплуатации. В данных обстоятельствах ограничение работы компенсатора областью гибких деформаций не позволяет целиком использовать его компенсирующую способность. С целью повышения надёжности сильфонного компенсатора уместно и следует допустить пластические деформации в более нагруженных участках оболочки. Потому как циклическое упругопластическое деформирование сильфона сопутствуется обычно его малоцикловым разрушением, одна из ключевых задач состоит в обеспечении необходимой прочности конструкции [3].

Затруднения, сопряжённые с разработкой строгих способов расчёта сопротивления конструкций малоциклового разрушению, и острая потребность решения значимых фактических вопросов обусловили применение инженерных способов, основанных в комбинировании результатов упругого расчёта с экспериментальными сведениями.

Материал сильфона должен удовлетворять многочисленным условиям, зависящим от его назначения и условий работы. Прежде всего, материал должен гарантировать необходимую прочностную надёжность сильфона, а с целью этого он должен обладать высочайшей упругостью и необходимой крепостью в обстоятельствах как неизменных, так и переменных нагрузок. С целью обеспечения высокой метрологической надёжности - сохранения постоянства рабочих данных чувствительного компонента во времени в обстоятельствах обычной и высокой температуры - материал сильфона должен владеть существенным противодействием малым пластическим деформациям. Высочайшее противодействие микропластическим деформациям - одно с главных и в то же время специфическое правило к материалам сильфонов [4].

С целью практической реализации инженерных способов расчётной оценки малоциклового разрушения сильфонных компенсаторов следует располагать надёжными и удобными в использовании способами и методами автоматизированного расчёта упруго-напряжённо-деформированного состояния сильфонов – программным обеспечением [5].

Расчёт напряжённо-деформированного состояния сильфонных упругих элементов (СУЭ) в программном комплексе COSMOS/DesignStar 4.0 среды SolidWorks основан на методе конечных элементов.

Базой геометрической модели любого проекта в SolidWorks является твердотельная деталь. Планирование модели может реализовываться как «сверху вниз» (от сборки к детали), так и «снизу вверх» (от детали до сборки), а кроме того в результате комбинаций данных подходов. Все переменные в модификации могут проводиться в настоящем времени. Модель SolidWorks складывается из трёх типов представлений – чертежей, деталей, сборок. Связь между ними такая, что переменные, произведённые в одном варианте, автоматически производятся в абсолютно всех иных видах. Система SolidWorks эффективна для решения вопросов анализа и синтеза проектно - конструкторских решений и испытаний деталей.

Модуль конечно-элементного расчёта COSMOSWorks, интегрированный в систему пространственного прогнозирования SolidWorks, является инструментом технического анализа. COSMOSWorks – приложение, что целиком работает с пакетом SolidWorks. Как результат, комплекс данных двух продуктов представляется, по сути, общим пакетом. Это значит, что не происходит никакой конвертации при переходе данных. Данная особенность увеличивает функциональность общего функционирования проектов и главное, свойства производимых расчётов. [1]

Прежде всего, нужно построить объёмную модель выбранного для исследования СУЭ в среде SolidWorks. Затем требуется задать граничные условия и провести требуемые расчёты. Из расчётов следует, что величина напряжений изменяется периодически, и максимальные напряжения возникают в вершинах и впадинах гофров. Распределение деформаций СУЭ при действии осевой силы (рис. 2) [6].

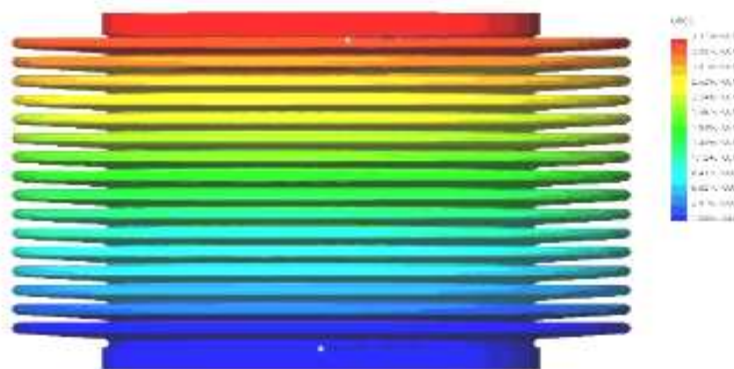


Рис. 2. Распределение деформаций СУЭ при действии осевой силы

Время, затраченное машиной на вычисления напряжений и деформаций, составляет не более 1 минуты, что значительно экономит время конструктора, выбравшего СУЭ для применения в первичном датчике системы управления.

В базе разработанной математической модификации отображения строится трёхмерная модель СУЭ в среде проектирования SolidWorks, что составляет комплекс автоматизации и даёт возможность реализовывать процесс проектирования, технического испытательного анализа и подготовки изготовления продуктов любой сложности и назначения оборудования. [1]

В программном обеспечении описывается процедура формирования полимерных модификаций сильфонов с установленной геометрией в базе новой технологии лазерного прототипирования. Приобретённые образцы СУЭ имеют совершенную фигуру, что сложно достижимо при гидравлическом способе производства СУЭ.

В программе приводится расчёт основных характеристик СУЭ — интенсивности напряжений и деформации в виде цветowych рисунков, чертежей, данных, отражающих распределение указанных параметров. Форма потери устойчивости СУЭ в виде цветowego рисунка (рис.3).

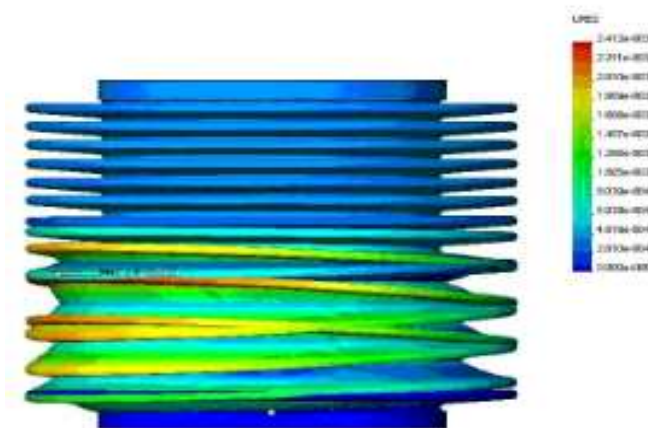


Рис. 3. Форма потери устойчивости СУЭ

Исследование поведения новых СУЭ в составе первичных датчиков систем управления в COSMOS/DesignStar 4.0 представляется наиболее перспективным направлением, так как не требует затрат на изготовление образцов для проверки их работоспособности, и позволяет уже на стадии проектирования выбрать наиболее оптимальный режим эксплуатации СУЭ [6].

Таким образом, использование программного обеспечения COSMOS/DesignStar 4.0 в среде SolidWorks для расчётов напряжённо-деформированного состояния СУЭ значительно облегчает анализ полученных результатов и экономит время, затрачиваемое разработчиком на аналогичные расчёты.

Исследования напряжённо-деформированного состояния и перемещения гофр смоделированных сильфонов при разных параметрах нагружения ведутся при помощи числовых способов, что даёт возможность,

применяя созданные экспертами программные пакеты, предопределять всю картину распределения усилий в стенке сильфона, в частности предопределять небезопасные места в сильфоне и ликвидировать уязвимости. Все перечисленные выше исследования ведутся с применением описываемого программного обеспечения.

В настоящее время нет единого, точного, достаточно удобного для практического использования аналитического способа расчёта сильфонов. Имеется значительное число теоретических способов расчёта сильфонов, владеющих различной степенью приближения (точности). Формирование единой модели расчёта статике, динамики и прочности СУЭ, базирующейся на современных машинно-ориентированных средах, по-прежнему остаётся актуальной проблемой.

Список литературы

1. Алямовский А.А. SolidWorks / COSMOSWorks. Инженерный анализ методом конечных элементов. ДМК-Пресс, 2004. 464 с.
2. Бурцев К.Н. Металлические сильфоны. М.: Машгиз, 1963. 164 с.
3. Луганцев Л.Д. Инженерный метод расчётной оценки несущей способности сильфонных компенсаторов при малоцикловом нагружении. Проблемы прочности. 1979. № 4.
4. Прочность при малоцикловом нагружении. Основы методов расчёта и испытаний / С.В.Серенсен, Р.М.Шнейдерович, А.П.Гусенков [и др.]. М.: Наука, 1975. 287 с.
5. Пономарев С.Д., Андреева Л.Е. Расчёт упругих элементов машин и приборов. М.: Машиностроение, 1980. 326 с.
6. Ткалич В.Л., Рыбакова Н.А. Проблемы качества сильфонных УЧЭ. СПб.: ГУИТМО, 2001.

Глебович Станислав Александрович, асп., stivgl@mail.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет

SOFTWARE CALCULATION OF BELLOWS EXPANSION JOINTS FOR STRENGTH

S.A. Glebovich

This article describes the analysis of stress-strain state of the compensator bellows with its implementation in the form of software for computers. The aim of this work is to analyze software for the calculation of bellows expansion joints for strength and value. In the presented work describes the modeling of the stress-strain state uses in an environment of engineering applications, SolidWorks.

Key words: calculation, bellows, strain, method, low-cycle, modification, software, element, stress-strain state.

Glebovich Stanislav Aleksandrovich, postgraduate, stivgl@mail.ru, Russia, Tula, Tula state university

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМА ПЕРЕБОРА ПРИ РАСПРЕДЕЛЕНИИ РАБОТЫ В ИЕРАРХИЯХ

Сай Вин Мо, С.А. Лупин, Т.А. Олейник,
Ай Мин Тайк, Сое Мое Аунг

Рассматривается эффективность параллельной реализации алгоритма перебора при решении задачи распределения работы в иерархиях. Предложен метод генерации вариантов загрузки узлов иерархии, ориентированный на параллельную реализацию. На примере распределения работы в трехуровневой иерархической структуре показана возможность реализации алгоритма полного перебора вариантов в виде многопоточного приложения.

Ключевые слова: иерархические системы, распределение работы, параллельные алгоритмы.

Иерархии имеют глубокие исторические корни. Даже в древности они использовались для регулирования различных аспектов жизни людей, в религиозных и военных формированиях. Сегодня на принципах иерархического управления построены политические и общественные организации, концерны в промышленности, армия и силы общественной безопасности [1]. Иерархические цепочки, состоящие из начальников и подчиненных, можно выделить не только в системах взаимоотношений людей. Используются иерархии и в технических системах, например, интернет обладает всеми признаками иерархической структуры. Структура библиотечных элементов ПЛИС также представляется многоуровневой иерархией. Активность исследований в области изучения иерархий с годами не снижается. Сложность проблемы создания оптимальной иерархической структуры определяется как размерностью задачи, так и ее многокритериальностью. Вычислительные системы, построенные на многоядерных микропроцессорах, позволяют использовать для анализа иерархий ресурсоемкие алгоритмы, что дает толчок для новых исследований.

Рассмотрим некоторые методы анализа иерархий и оценим возможность их параллельной реализации.

В работе [2] описана многопараметрическая модель, предназначенная для выбора альтернативных технологий. В ее основе лежит метод 3-ступенчатого анализа иерархии. На первом шаге формируется набор альтернатив, на втором производится их оценка и иерархический анализ, а на третьем – интеграция множества упорядоченных вариантов в оптимальное решение. Ступенчатый характер метода серьезно препятствует его параллельной реализации. Из всех этапов только второй может быть распараллелен.

Пример использования иерархий в автоматизированном проектировании ПЛИС представлен в работе, где иерархию образует множество библиотечных элементов [3].

В статье [4] описано использование иерархии классов для оптимизации кода в статически и динамически типизированных языках. Исследована применимость анализа иерархии классов в интерактивной среде программирования и для отдельной компиляции. Проведена оценка повышения производительности кода, которую дает анализ иерархий классов как отдельно, так и сочетании с другими методами оптимизации.

Метод классификации децентрализованных, распределенных и иерархических архитектур управления для крупномасштабных систем рассмотрен в [5]. Основное внимание уделено проектным процедурам, основанным на модели интеллектуального управления.

В статье [6] представлена иерархическая модель интеллектуальной системы управления крупномасштабными комплексами, основанная на двойной декомпозиции. Предложенная схема обеспечивает сочетание целостности объекта управления с ограничениями, накладываемыми на подсистемы, генерирует начальное решение за конечное число итераций. Улучшение начального решения выполняется с помощью градиентного метода. Устойчивость итерационной схемы обеспечивается с помощью ограничения на точность или оптимальность решения.

Для анализа работы иерархий может использоваться ее представление в виде древовидной структуры. При этом производимые работы разбиваются на ряд более мелких действий, которые могут быть выполнены независимо друг от друга. В свою очередь, действия разбиваются на еще более мелкие операции. Процесс разбиения продолжается до тех пор, пока не будут получены элементарные неделимые операции. Результатом применения этого подхода является формирование «перевернутого дерева», с небольшим числом вершин в корне и большим в кроне (рис.1).

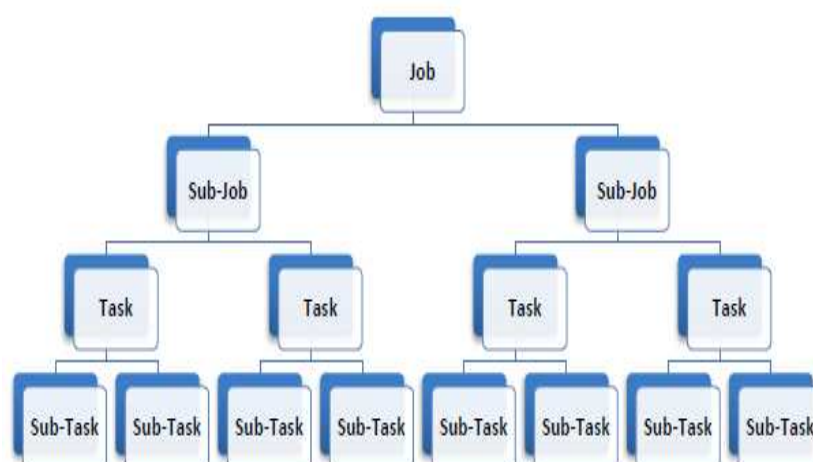


Рис. 1. Древовидная схема работы

Методика была использована для анализа работы 30 медсестер хирургического отделения больницы [7].

Анализ работы с использованием метода иерархий включает три этапа:

- 1) отбор небольшой группы экспертов, владеющих техникой метода;
- 2) разработка плана работы экспертов;
- 3) детальный анализ содержания работ, подлежащих оптимизации.

В результате работы экспертов были выделены 31 основных задачи, которые в конечном итоге были разбиты на 161 подзадачу. Анкетирование медсестер позволило определить среднее время, которое требуется для их выполнения. Эти результаты были дополнены показателями частоты выполнения каждой из подзадач, а затем включены в древовидную модель в качестве показателя важности каждого вида деятельности.

Конечным этапом метода является распределение всех вершин дерева между исполнителями. При этом авторы используют критерий равномерности их загрузки в сочетании с минимизацией общего времени выполнения работы. Методика требует активного участия экспертов, что препятствует ее автоматизации.

Рассмотренные примеры показывают, что для анализа иерархий используются различные подходы, ориентированные на максимальный учет особенностей предметной области. Несмотря на высокую эффективность, такие алгоритмы не являются универсальными. Метод полного перебора вариантов является мощным средством для решения различных оптимизационных задач.

В работах [8] и [9] обоснована возможность использования для распределения работы в иерархических структурах метода перебора. Однако его последовательная реализация не позволяет работать с задачами большой размерности, к которым, в частности, можно отнести и рассмотренный выше пример. Покажем, что алгоритм распределения работы может быть эффективно реализован и на параллельной платформе.

Рассмотрим основные этапы работы алгоритма, необходимые для нахождения оптимального распределения задания при заданной структуре иерархии. Для иллюстрации используем простейшую модель.

Пусть имеется трехуровневая иерархическая система аналогичная той, которая представлена на рис. 1. Не меняя общности условий задачи, построим несколько иную ее модель. В узлах дерева будем отображать исполнителей, тогда ребра покажут их соподчиненность. В отличие от алгоритма [7], мы будем искать оптимальное распределение работы между исполнителями.

В такой постановке задачи на вход системы поступает задание W , состоящее из подзадач J_1, J_2, J_3 . Необходимо найти распределение подзадач между узлами дерева, обеспечивающее минимальное время его выпол-

нения. Определим условие тестовой задачи. Входное задание: $W = (J_1, J_2, J_3)$, где $J_1 = 1$, $J_2 = 2$, $J_3 = 4$. Элементы иерархической системы обладают характеристиками, представленными в табл. 1. Значения параметров показывают скорость выполнения подзадач каждым из узлов.

Таблица 1

Характеристики узлов иерархии

Узел	Подзадачи		
	J_1	J_2	J_3
1	1	0.1	0.1
2	0.1	1	0.1
3	0.1	1	0.1
4	0.1	0.1	1
5	0.1	0.1	1
6	0.1	0.1	1
7	0.1	0.1	1

Зададим дискретность изменения объемов подзадач при распределении задачи между узлами $\Delta J = 1$. В простейшем случае при распределении работы не требуется учитывать позиции элементов в узлах иерархии, поскольку их перестановка не повлияет на время выполнения задания.

Работа алгоритма перебора основана на назначении каждому узлу иерархии части общего задания W . Перебрав все возможные варианты распределения, мы получим оптимальное решение. При этом можно использовать два подхода к генерации задания узлам. Первый основан на перманентном формировании вариантов в ходе работы алгоритм, а второй использует заранее сформированные варианты. В [8] обоснована предпочтительность второго подхода. Исходя из объема задания W и дискретности распределения подзадач, сформируем все возможные варианты загрузки узлов (табл. 2).

Для формирования вариантов используется простой метод, основанный на программных счетчиках. Число возможных вариантов нагрузки составит

$$N_{\text{var}} = 2 \cdot 3 \cdot 5 = 30.$$

Отметим, что формирование вариантов происходит только в последовательной части приложения. Потоки могут совместно использовать уже готовый массив.

Алгоритм перебора предполагает, что каждый из M узлов может быть загружен любым из N_{var} вариантов. Для простейшей трехуровневой иерархии $M = 7$, исполнители образуют множество $H = \{h_1, \dots, h_7\}$. Число возможных состояний иерархической системы при выполнении задания W составит:

$$N = (N_{\text{var}})^M = 30^7 \approx 2,2 \cdot 10^{10}.$$

Таблица 2

Варианты нагрузки узлов

№	j_1	j_2	j_3	№	j_1	j_2	j_3	№	j_1	j_2	j_3
1	0	0	0	11	0	2	0	21	1	1	0
2	0	0	1	12	0	2	1	22	1	1	1
3	0	0	2	13	0	2	2	23	1	1	2
4	0	0	3	14	0	2	3	24	1	1	3
5	0	0	4	15	0	2	4	25	1	1	4
6	0	1	0	16	1	0	0	26	1	2	0
7	0	1	1	17	1	0	1	27	1	2	1
8	0	1	2	18	1	0	2	28	1	2	2
9	0	1	3	19	1	0	3	29	1	2	3
10	0	1	4	20	1	0	4	30	1	2	4

Отметим, что только небольшая часть этих состояний удовлетворяет условию выполнения задания W , но в алгоритме перебора необходимо генерировать их все (табл. 3) и проверять условие полного выполнения задания W .

Таблица 3

Генерация вариантов нагрузки узлов

№	h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	h_6	h_7	Корректность
1	0	0	0	0	0	0	0	.F.
2	0	0	0	0	0	0	1	.F.
K	0	16	0	0	11	5	0	.T.
L	30	0	0	0	0	0	0	.T.
N	30	30	30	30	30	30	30	.F.

Воспользовавшись методикой, приведенной в [8], можно определить число вариантов распределения задания между узлами, обеспечивающих условие полного выполнения задания W

$$N_{sat} = \frac{8!}{2! \cdot 6!} \cdot \frac{7!}{1! \cdot 6!} \cdot \frac{10!}{4! \cdot 6!} = 41160.$$

Число состояний иерархии N , которые необходимо проанализировать, намного больше числа состояний, которые удовлетворяют условию задачи - N_{sat} , что типично для алгоритма перебора. Если вычислительная сложность процедуры оценки состояния невелика, нет необходимости использовать их предварительную фильтрацию.

Для формирования множества вариантов распределения нагрузки (см. табл. 3) использованы программные счетчики. Это позволяет применять стандартные конструкции типа *omp parallel for* во внешнем цикле для построения многопоточного приложения.

Нагрузка каждого элемента иерархии $\{h_1, \dots, h_7\}$ определяется одним из вариантов (см. табл. 2). Полученные варианты проверяются на условие выполнения задания W . Корректные варианты отмечены в табл. 3 - $.T.$, недопустимые - $.F.$ в столбце «Корректность». Отметим, что в процессе работы приложения не происходит формирования табл. 3. Каждый поток поочередно анализирует только одну строку таблицы, которая предварительно генерируется счетчиками. Процедуру анализа предваряет процедура проверки корректности варианта.

Таким образом, поиск оптимального варианта распределения задания в алгоритме перебора требует нахождения времени выполнения задания для всех возможных вариантов его реализации $N_{sat} = 41160$, с последующим выбором наименьшего значения. Текущий рекорд хранится в пространстве памяти общем для всех процессов, поэтому процедура редуцирования не требуется.

Сложность процедуры вычисления времени работы для корректного варианта распределения задания выше, чем процедуры проверки корректности, поэтому возможен некоторый дисбаланс в работе потоков. Поскольку доля корректных вариантов незначительна, в исследуемом приложении не применялось специальных мер для балансировки нагрузки.

Многопоточное приложение реализовано в среде Intel Parallel Studio с использованием библиотеки OpenMP.

Результаты исследования эффективности параллельной реализации алгоритма перебора для задачи распределения нагрузки в иерархии представлены в табл. 4. Эксперименты проводились на рабочей станции, имеющей 2 процессора Intel XEON E5335 (2.0 GHz, quad-core), объем оперативной памяти 4x1Gb FBDIMM 5300.

Масштабируемость алгоритма перебора

Число потоков	Время, с	Ускорение (теория)	Ускорение (практика)
1	203.24	1	1
2	106.20	2	1.91
3	70.27	3	2.89
4	54.92	3.75	3.70
5	43.11	5	4.71
6	35.25	6	5.77
7	34.74	6	5.85
8	27.60	7.5	7.36

Проанализируем представленные результаты. При увеличении числа потоков, время работы приложения снижается обратно пропорционально их числу. Это говорит о хорошей масштабируемости приложения. Особенности создания потоков с помощью функции `omp parallel for`, позволяют оценить максимально достижимое ускорение.

Если число итераций внешнего цикла (в нашем примере 30) делится нацело на число потоков, то достигается максимально возможное ускорение – 2, 3, 5, и 6 потоков. В противном случае часть ядер будет простаивать на последней стадии – 4, 7 и 8 потоков. Конечно, эти рассуждения справедливы в том случае, если для каждого процесса выделяется свое ядро. В экспериментах это условие выполняется. В графическом виде результаты представлены на рис. 2. Пунктир отображает теоретическое, а сплошная линия практическое ускорение вычислений.

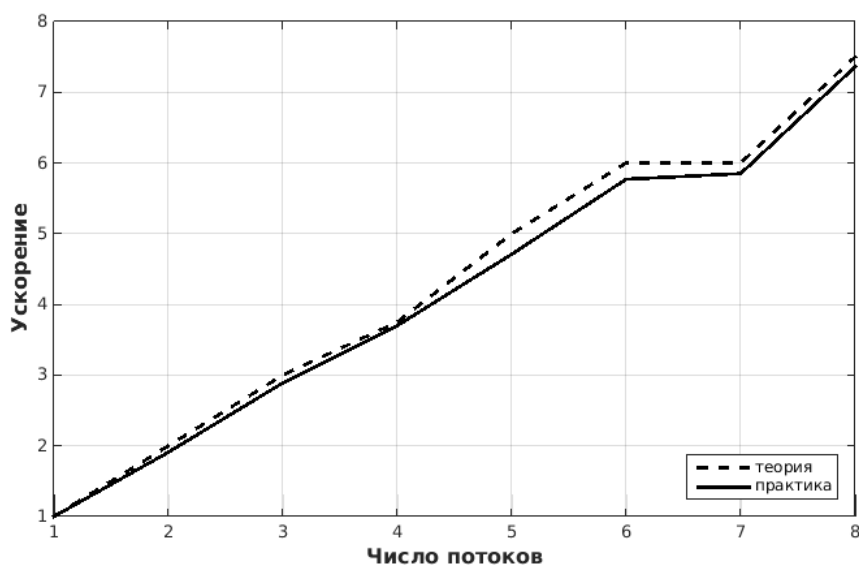


Рис. 2. Ускорение вычислений

Найденное решение задачи представлено в табл. 5. Оно удовлетворяет условию задачи. Минимальное время выполнения задания W иерархией равно 1.

Таблица 5

Оптимальное распределение подзадач

Узел	Вариант нагрузки	Подзадачи		
		J1	J2	J3
1	16	1	0	0
2	6	0	1	0
3	2	0	0	1
4	6	0	1	0
5	2	0	0	1
6	2	0	0	1
7	2	0	0	1
W		1	2	4

Приведенные результаты подтверждают возможность использования параллельной реализации алгоритма полного перебора вариантов для нахождения оптимального распределения работы в иерархических системах. Использование программных счетчиков для генерации вариантов распределения задания в последовательной части приложения снижает нагрузку на параллельные потоки. Стратегия поиска оптимума позволяет эффективно распределить вычисления между процессорными ядрами благодаря их независимости по данным. Параллельная реализация алгоритма расширяет область применения алгоритма, но не делает ее безграничной. При увеличении размерности задачи время вычислений будет недопустимо большим. Решением проблемы может стать метод редуцирования исходной иерархии, исследованием которого будут посвящены дальнейшие работы.

Статья подготовлена в рамках выполнения научного проекта РФФИ № 16-07-01055/165 «Адаптация ресурсоемких алгоритмов к распределенной вычислительной среде».

Список литературы

1. Hogan J. The leadership lever // Professional. 2011. Vol. 13. No. 3. P. 10–13.
2. Samudrala Varakumari. Project selection based on knowledge by using 3-step analysis hierarchy process // International Journal of Advanced Engineering Technology. IJAET. Oct.-Dec. 2012. Vol. III. Issue IV. P. 82-85.

3. Aminof B., Mogavero F., Murano A. Synthesis of hierarchical systems // *Science of Computer Programming*. 2014. Vol. 83. P. 56–79.

4. Dean J., Grove D., Chambers C. Optimization of Object-Oriented Programs Using Static Class Hierarchy Analysis // *Department of Computer Science and Engineering, University of Washington Seattle, USA*. 25 p.

5. Architectures for distributed and hierarchical Model Predictive Control / *Politecnico di Milano, Via Ponzio 34/5, Milano, Italy*. 2013.

6. Doan M.D., Keviczky T., Schutter B. A distributed optimization-based approach for hierarchical model predictive control of large-scale systems with coupled dynamics and constraints // *Decision and Control and European Control Conference (CDC-ECC) - 50th IEEE Conference on Sider*. 2011. P. 5236-5241.

7. Rohloff K., Ye J., Loyall J., Schantz R. A hierarchical control system for dynamic resource management // *In Proc. 2006 IEEE Real-Time and Embedded Technology and Applications Symposium - RTAS 2006, San Jose, CA*. 2006. P. 37 - 41.

8. Лупин С.А., Мо С.В., Тайк А.М. Применимость алгоритма полного перебора вариантов при распределении работы в иерархических системах // *Информационные системы и технологии*. 2015. №4 (90). С. 9-27.

9. Maw S.W., Thaik A.M., Lupin S., Kovalenko D., Worden J. Job Distribution in Hierarchic Systems // *Proceedings of the Fifth International Conference on Internet Technologies and Applications (ITA 15)*. Glyndwr University, Wrexham, UK. 2015. P. 102-106.

Сай Вин Мо, асп., saiwinmaw50@gmail.com, Россия, Москва, Национальный исследовательский университет «МИЭТ»,

Сергей Андреевич Лупин, канд. техн. наук, проф., lupin@miee.ru, Россия, Москва, Национальный исследовательский университет «МИЭТ»,

Татьяна Анатольевна Олейник, канд. пед. наук, доц., hm1@miee.ru, Россия, Москва, Национальный исследовательский университет «МИЭТ»,

Ай Мин Тайк, асп., ayeminthike52@gmail.com, Россия, Москва, Национальный исследовательский университет «МИЭТ»,

Соё Моё Аунг, асп., taumyotar50@gmail.com, Россия, Москва, Национальный исследовательский университет «МИЭТ»

**EFFICIENCY OF SEARCH PARALLEL ALGORITHM FOR JOB DISTRIBUTION IN
HIERARCHICAL SYSTEMS**

Sai Win Maw, S.A. Lupin, T.A. Oleynik, Aye Min Thike, Soe Moe Aung

The efficiency of the parallel implementation of brute force algorithm for solving the problem of the distribution of work in hierarchies is discussed. Paper described a method of load distribution in hierarchy, which oriented for parallel implementation. The example of solving task of load distribution in the three-tier hierarchy, shown in paper, confirms the possibility of implementing the brute force algorithm as a multi-threaded application.

Key words: hierarchical systems; job distribution; parallel algorithms.

Sai Win Maw, postgraduate, saiwinmaw50@gmail.com, Russia, Moscow, National Research University of Electronic Technology,

Sergey Andreevich Lupin, candidate of technical science, professor, lupin@miee.ru, Russia, Moscow, National Research University of Electronic Technology,

Tatiana Anatolievna Oleynik, candidate of pedagogical science, docent, hm1@miee.ru, Russia, Moscow, National Research University of Electronic Technology,

Aye Min Thike, postgraduate, ayeminthike52@gmail.com, Russia, Moscow, National Research University of Electronic Technology,

Soe Moe Aung, postgraduate, maymyotar50@gmail.com, Russia, Moscow, National Research University of Electronic Technology

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

УДК 621.9

ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ ЗОНЫ ПРЕДРАЗРУШЕНИЯ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ОПЕРАЦИИ

Г.В. Шадский, О.А. Ерзин, В.С. Сальников

Предложенный подход к диагностике состояния упругопластического деформирования материала в зоне резания базируется на анализе спектральных составляющих. Подтверждено, что фазы состояния зоны хорошо коррелируются с колебаниями сил резания. Установлено, что наиболее информативными с точки зрения степени ее дефектности являются первая, третья и пятая гармоники. Показано, что контролируемый параметр и характеристики диагностической системы оказывают существенное влияние на адекватность воспроизведения состояния зоны резания. Предложенный подход открывает широкие перспективы для анализа условий резания, в том числе с целью его интенсификации.

Ключевые слова: упругопластическое деформирование, релаксационные процессы, силы резания, режущий клин, диагностический сигнал, спектральные составляющие, искажение сигнала.

Направленное разрушение материала характеризуется целенаправленным воздействием на него элементов технологической системы. Оно определяется заданием либо силы взаимодействия, либо скорости взаимного перемещения. Последнее нашло наиболее широкое применение в операциях лезвийной обработки. В частности, сила, действующая на режущий клин, является функцией напряжений, возникающих в зоне резания. Известно, что при его равномерном перемещении изменение напряжений носит релаксационный характер [4]. Его внешним проявлением является периодическое изменение силы [1-3,7,12-21].

Выделяя соответствующие гармонические составляющие в спектре частот колебаний, генерируемых в зоне резания, можно контролировать характер протекания процесса упругопластического деформирования материала. Однако определить момент введения корректирующего воздействия, обеспечивающего повышение эффективности процесса резания, не представляется возможным.

Для этих целей целесообразно восстановить форму изменения напряжений в течении релаксационного периода, то есть во временной области, учитывая задержки и искажения, вносимые передающими и преобразующими элементами диагностической системы, максимально исключая влияние неизбежных помех.

Таким образом, для контроля состояния зоны предразрушения необходимо обосновать структуру и параметры системы диагностики, обеспечивающие адекватное воспроизведение контролируемых параметров. Будем описывать передающие и преобразующие элементы диагностической системы в виде передаточных функций. Это позволит использовать известный аппарат преобразования спектров сигналов.

Известно, что спектральная плотность сигнала на выходе системы равна спектральной плотности сигнала на входе, умноженной на квадрат модуля комплексного коэффициента ее передачи $W(j\omega)$:

$$S_y(\omega) = |W(j\omega)|^2 S_x(\omega), \quad (1)$$

где $S_y(\omega)$, $S_x(\omega)$ - спектральные плотности сигналов на выходе и входе диагностической системы, соответственно.

Отсюда следует, что фазовая частотная характеристика системы не оказывает влияния на спектральную плотность выходного сигнала. Однако она влияет на фазы его спектральных составляющих, а следовательно, и на воспроизведение сигнала во временной области.

Очевидно, что при построении системы диагностики состояния зоны предразрушения, создающей условия для синхронизации корректирующего воздействия на нее с фазой контролируемого параметра, необходимо исследовать канал измерений на достоверность восстановления сигнала и в фазовой области.

Задача системы диагностики состоит в передаче контролируемого параметра X_{ck} по возможности без искажения, причем допустимы лишь изменения масштаба в k_0 раз и запаздывание на время $\tau_0 = const$. При таком подходе мерилем величины искажений служить среднеквадратичная погрешность. Идеальным законом воспроизведения входной величины является [13]

$$Y_{id} = k_0 X_{ck}(t - \tau_0). \quad (2)$$

В реальной системе $Y \neq Y_{id}$ и имеет место погрешность

$$e(t) = k_0 X_{ck}(t - \tau_0) - Y(t). \quad (3)$$

В дальнейшем будем считать, что контролируемый параметр диагностической системы X_{ck} является стационарным и эргодическим процессом. В общем случае на ее вход поступает сумма полезного сигнала X_{ck} и аддитивной помехи F . Будем полагать, что сигнал и помеха представляют собой стационарные случайные процессы со спектральными плотностями $S_X(\omega)$ и $S_F(\omega)$ соответственно. Задача системы состоит в передаче входного

сигнала с минимально возможными искажениями. Эта погрешность случайна, так как случайны ее составляющие. Для оценки погрешности воспроизведения такого сигнала в качестве критерия оптимальности можно воспользоваться среднеквадратичной погрешностью:

$$\overline{x^2(t)} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T e^2(t) dt = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T [X_{ck}(t - \tau) - Y(t)]^2 dt. \quad (4)$$

Задача состоит в подборе такой передаточной функции диагностической системы $W(p)$, которая обеспечивала бы минимальное значение среднеквадратичной погрешности воспроизведения контролируемого параметра [13]. Например, для системы, представляющей собой идеальный фильтр низших частот, можно воспользоваться простыми физическими соображениями для определения ее параметров, в частности, частоты среза. Существует некоторое оптимальное ее значение, поскольку, чем шире полоса частот, тем «лучше» проходит помеха сквозь фильтр и больше интенсивность шума на его выходе. С этой точки зрения желательно уменьшить значения частоты среза. Однако, с другой стороны, полезный сигнал имеет определенный частотный спектр: при увеличении частоты среза сквозь фильтр проходит более широкий участок его спектра. К этому следует добавить, с увеличением частоты среза уменьшаются фазовые сдвиги основных спектральных составляющих. Поэтому воспроизведение полезного сигнала на выходе фильтра улучшается, а его искажения уменьшаются.

В реальных условиях обработки сигналов с датчиков технологического оборудования с определенной степенью точности можно предположить, что помеха представляет собой белый шум со спектральной плотностью $S_F(\omega) = const$, а полезный сигнал имеет экстремум на некоторой частоте ω_0 , например, соответствующей собственной частоте контролируемого процесса.

Полезный сигнал и помеха, как отмечалось выше, статистически независимы, поэтому их взаимная корреляционная функция равна нулю. Тогда преобразование Лапласа для ошибки воспроизведения входного сигнала (4)

$$E(p) = W_X(p)X_{ck}(p) + W_F(p)F(p); \quad (5)$$

$$W_X(p) = (k_0 e^{-p\tau_0} - W(p)); \quad W_F(p) = W(p).$$

Данное выражение позволяет получить соотношение спектральных плотностей и мощности сигнала ошибки воспроизведения контролируемого параметра:

$$S_Y(\omega) = |W_X(j\omega)|^2 S_X(\omega) + |W_F(j\omega)|^2 S_F(\omega); \quad (6)$$

$$\overline{e^2(t)} = \frac{1}{\pi} \int_0^\infty S_Y(\omega) d\omega = \frac{1}{\pi} \int_0^\infty |W_X(j\omega)|^2 S_X(\omega) d\omega + \frac{1}{\pi} \int_0^\infty |W_F(j\omega)|^2 S_F(\omega) d\omega. \quad (7)$$

Диагностическая система должна доставлять минимум функционала (7). В этом случае можно обеспечить максимальную достоверность воспроизведения полезного сигнала. Минимум его искажений, обусловленных наличи-

ем помех в канале измерений, достигается благодаря максимальному возможному сокращению спектра его гармоник, приходящих на выход системы.

В любой технологической системе инструмент является, не только передающим, но порой и преобразующим элементом средств диагностики. Он является наименее инерционным звеном, и обладает избирательными свойствами в смысле воспроизведения колебательных явлений, сопровождающих процесс резания.

С точки зрения динамики и передачи информации инструмент может быть описан дифференциальным уравнением 2-го порядка:

$$m_p \ddot{x}(t) + \eta_p \dot{x}(t) + cx(t) = P_z(t), \quad (8)$$

где m_p , η_p , c – приведенная масса инструмента, коэффициент демпфирования и жесткость с учетом условий его закрепления; P_z – основная составляющая силы резания; $x(t)$ – координата перемещения режущей кромки относительно установившегося положения.

Для перехода от деформационных процессов к силе воспользуемся их дискретным представлением [16,19]. Определим ее через характеристики материала и режим резания:

$$P_z(t) = \frac{E \cdot b_r \cdot l_{nn} \cdot \cos(\theta - \gamma) \cdot x_d(t) \cdot \cos \theta}{\cos \varphi \cdot S_0}, \quad (9)$$

где E_1 – модуль упругости Юнга; V_p , S_0 , b_r – скорость, оборотная подача и глубина резания соответственно; l_{nn} – длины контактной площадки передней поверхности режущего клина и стружки; θ , γ , φ – углы наклона плоскости сдвига и режущего клина: передний и главный в плане соответственно.

Для определения длины контактной площадки передней поверхности режущего клина и стружки воспользуемся известным выражением [5,6,12]:

$$l_{nn} = 1,42 \sqrt[4]{\eta E_1 b_r S_0^3}; \quad \eta = \frac{1 - \mu_1}{E_1} + \frac{1 - \mu_2}{E_2}, \quad (10)$$

где η – упругая постоянная двух соприкасающихся тел; μ_1 , E_1 , μ_2 , E_2 – коэффициенты Пуассона и модули упругости обрабатываемого материала и инструмента соответственно.

Из выражений (8) и (9) видно, что инструмент способен улавливать изменение составляющих сил резания, как внешнего проявления изменения состояния упругопластического деформирования зоны резания.

Собственная частота, например, резцов лежит в пределах $f_u = 1,2 \dots 4,0 \text{ кГц}$. Параметры движения режущего клина в этом диапазоне частот могут являться средством оперативного контроля фазы упругопластического деформирования материала в зоне резания.

Для станков фрезерной группы таким элементом также является инструмент – фреза. С точки зрения динамики она также может быть описана звеном второго порядка, то есть обладает свойствами фильтра. Однако определение координатной плоскости с доминирующим проявлением ее колебаний при солжнофасонном формообразовании представляет значительные технические трудности. К этому следует добавить, что длина плоскости сдвига при фрезеровании не является величиной постоянной. За время контакта зуба с заготовкой она изменяется от некоторого минимального значения до максимального и снова до минимального. Характер этой зависимости помимо условий обработки определяется числом зубьев фрезы. Это делает невозможным использовать в качестве диагностического сигнала колебаний фрезы и ставит задачу поиска более достоверных сигналов. Таким образом, инструмент при фрезеровании, может являться только передающим, но не преобразующим элементом диагностической системы. При фрезеровании деформационные процессы наиболее ярко выражаются в пульсациях момента на приводе главного движения. В качестве преобразующего элемента для их идентификации целесообразно использовать датчики момента или обеспечить контроль тока, потребляемого двигателем, что предусмотрено, в частности, в современных станках с ЧПУ. К этому следует добавить, что мгновенная сила резания изменяется по направлению и по модулю, причем с частотой кратной числу зубьев фрезы. Прецессия шпинделя, обусловленная наличием дисбаланса, оказывает влияние на характер ее изменения. На рис. 1, в частности, показано влияние фазового сдвига прецессионных колебаний относительно вращения шпинделя на изменение составляющей силы резания, на примере двузубой фрезы [8,9].

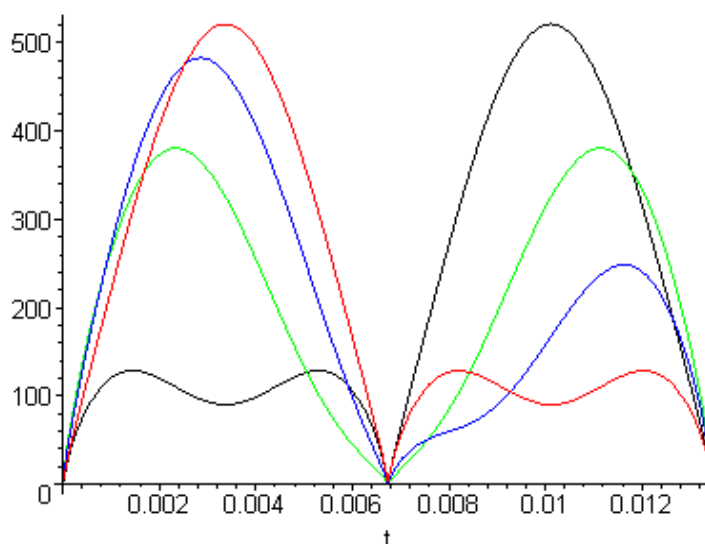


Рис. 1. Влияние прецессии шпинделя на мгновенную силу резания (фазовый сдвиг): 1 (красный) - $\varphi = 0$; 2 (синий) - $\varphi = \pi/4$; 3 (зеленый) - $\varphi = \pi/2$; 4(черный) - $\varphi = \pi$

Современные системы ЧПУ имеют комплекс встроенных средств диагностики, как технологического оборудования, так и процесса резания. Одним из самых распространенных - является контроль нагрузки на приводы. В их основе лежит измерение потребляемого двигателем тока. Отличительная особенность приводов главного движения заключается в использовании закона управления с постоянной мощностью. В этом случае потребляемый двигателем ток зависит не только от нагрузки, то есть сил резания, но и от скорости вращения. Наиболее широкое распространение в приводах главного движения в последнее время нашли асинхронные двигатели (АД) с частотным регулированием. Для оценки информативности сигнала тока этого двигателя на основании известной схемы его замещения с учетом закона управления получена следующая зависимость [8,9]:

$$I_{f1} \approx 0.19 \sqrt{\frac{M \cdot n \cdot s_n (1 - 1/K_p)}{p \cdot R'_2}} A_{KI}(\omega) \sin(\omega t - \varphi_{KI}(\omega)); \quad (11)$$

$$M = P_z D_{fr} / 2 + M_{xx},$$

где P_z - окружная сила резания, определяемая деформационными процессами в зоне резания; D_{fr} - диаметр фрезы; M_{xx} - момент сопротивления на холостом ходу; n - скорость вращения шпинделя; s_n , p , R'_2 - номинальное значение скольжения, число пар полюсов и приведенное значение активного сопротивления ротора АД; K_p , $A_{KI}(\omega)$, $\varphi_{KI}(\omega)$ - добротность, амплитудно и фазочастотные характеристики контура тока привода главного движения.

Анализ приведенной зависимости показывает, что измеряемый параметр в общем случае является не только функцией нагрузки, но и скорости, и зависит от характеристик двигателя.

В предлагаемой диагностической системе в качестве входного контролируемого сигнала будем использовать координаты перемещения первого фрагмента срезаемого слоя материала, расположенного вдоль плоскости сдвига, определяемые силой его взаимодействия с режущим клином. В этом случае ее передаточная функция может быть представлена совокупностью передаточных функций передающей $W_p(p)$ и преобразующей $W_{kon}(p)$ подсистем, причем выходом системы является некий электрический сигнал $u_d(t)$, адекватно отражающий состояние упругопластического деформирования зоны предразрушения. В общем случае

$$W_d(p) = W_{kon}(p) \cdot W_p(p); \quad (12)$$

$$W_{kon}(p) = \frac{U_d(p)}{X_p(p)} = \frac{K_{kon} \cdot p^d}{(T_{kon} p + 1)}; \quad W_p(p) = \frac{X_p(p)}{X_1(p)} = \frac{K_p}{T_p^2 p^2 + 2\xi T_p p + 1},$$

где K_p, T_p, ξ - коэффициент преобразования, постоянная времени и коэффициент демпфирования передающей подсистемы; K_{kon}, T_{kon}, d - коэффициент преобразования, постоянная времени и параметр структуры преобразующей подсистемы.

Для широкого круга практических задач на операциях точения параметры подсистем лежат в пределах $K_p = (0,01...0,2)$; $T_p = (0,25...1,0) \cdot 10^{-3} c$; $\xi = 0,2...0,8$; $T_{kon} = (10...50) \cdot 10^{-6} c$, $K_{kon} = (0,001...0,1) B / мкм$; для датчиков контролируемого параметра $d = 0$, скорости его изменения $d = 1$, ускорения $d = 2$. При использовании датчиков силы можно предположить, что

$$W_d(p) = W_{kon}(p) = \frac{U_d(p)}{F_p(p)} = \frac{K_{kon} \cdot p^d}{(T_{kon}p + 1)}. \quad (13)$$

С целью упрощения моделирования диагностической системы воспользуемся аппроксимацией движения первого фрагмента срезаемого слоя вдоль плоскости сдвига [16,19] нелинейной периодической функцией $x_d(t)$. Она отражает релаксационный характер процессов, протекающих в зоне предразрушения, с периодом, соответствующим времени формирования мгновенной плоскости сдвига T_{cd} . Данная функция позволяет моделировать скачкообразное движение фрагментов срезаемого слоя, описывая моменты трогания T_{trj} и скачки T_c с амплитудой A_{kj} , где j - номер скачка в законе движения фрагмента. Результаты моделирования функции $x_d(t)$ для условий резания [16,19]: сталь 30ХРА ($E \approx 2,1 \cdot 10^{11} H / м^2$, $\rho = 8,3 \cdot 10^3 кг / м^3$, $\sigma_b = 1,2 \cdot 10^9 H / м^2$), $V_p = 1...2,5 м / с$, $S_o = 0,2 мм / об$, $b_r = 1,5 мм$), инструмент: проходной резец Т15К6, главный угол в плане $\phi = 45^0$, передний угол $\gamma = 10^0$ приведены на рис. 2, а, кривые 1, 2.

Для исследования возможностей адекватного воспроизведения входного сигнала диагностической системой произведено ее разложение в ряд Фурье рис.2, а, кривые 3, 4. Анализ полученных кривых показывает, что предложенная аппроксимирующая функция адекватно отражает характер движения первого фрагмента срезаемого слоя [16,19], и хорошо описывается набором из 30 ее спектральных составляющих.

При построении графиков использовались относительные параметры:

$$X_d(t) = x_d(t) / A_{ko}, \quad A_{ko} = \sum_{j=1}^m A_{kj}, \quad t_{ot} = t / T_c, \quad f_{ot} = f \cdot T_{cd}. \quad (14)$$

Анализ спектральных составляющих показывает, что для адекватного представления выбранной нелинейной функции достаточно использовать первые 10 гармоник. Причем к наиболее информативным, вероятно следует отнести 1,3,5-ю гармоники (рис. 3).

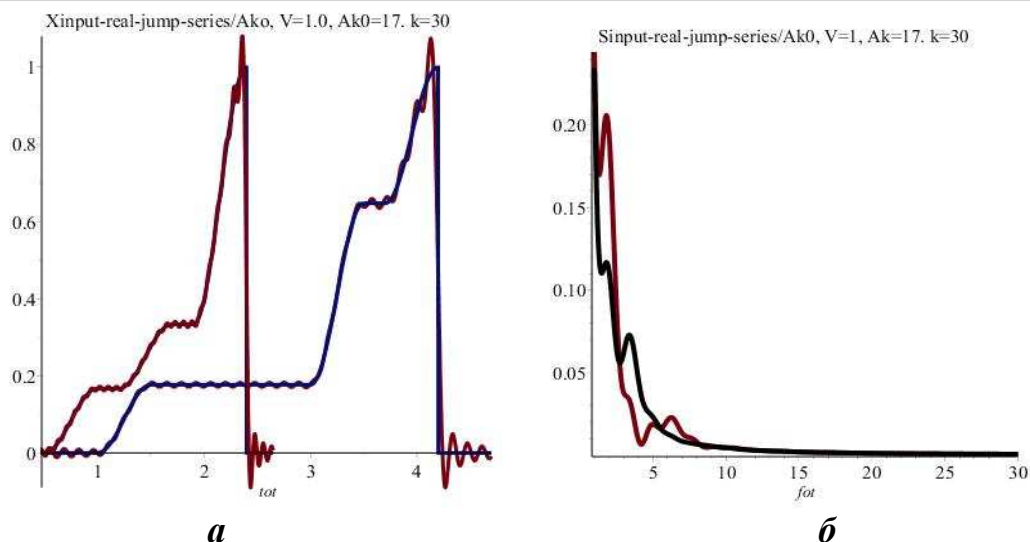


Рис. 2. Характеристики движения первого фрагмента срезаемого слоя: а - перемещение; б - спектр гармонических составляющих движения; 1 - $V_p = 1$ м/с, 2 - $V_p = 2.5$ м/с, 3, 4 - результат представления перемещения суммой гармонических составляющих

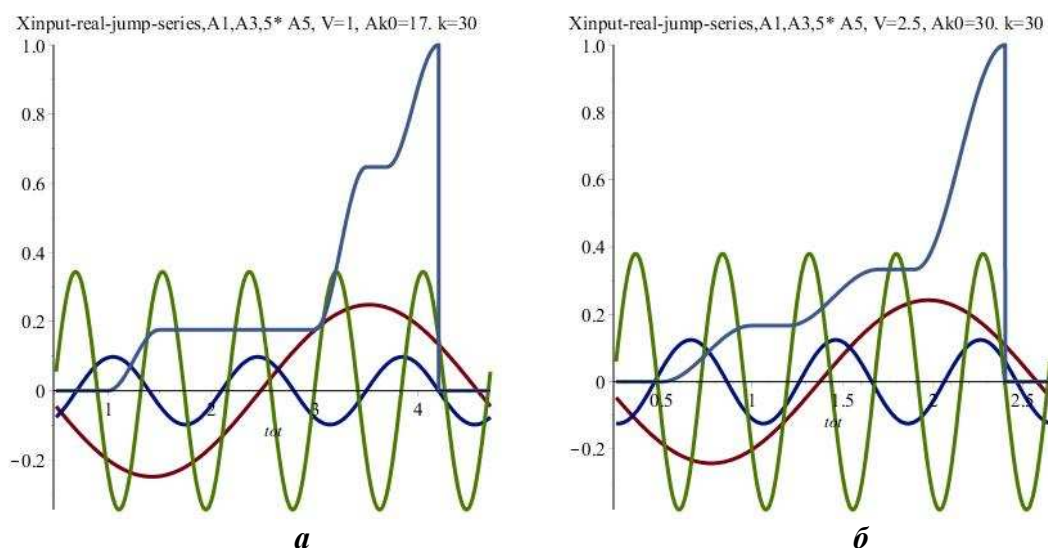


Рис. 3. Движение первого фрагмента срезаемого слоя: а - $V_p = 1$ м/с; б - $V_p = 2.5$ м/с, 1 - перемещение; 2-1-я, 3-3-я, 2-5-я гармоники движения

Эти гармоники позволяют определить, в частности, момент окончания второго скачка. Он соответствует накоплению более 50% дефектов в зоне предразрушения, и может быть использован для формирования адекватных корректирующих воздействий.

Оценку принципиальной возможности диагностики состояния зоны предразрушения произведем на идеальной системе с датчиком силы. Не вдаваясь в ее техническую реализуемость, будем описывать ее передаточной функцией (12) с $d = 0$ и $T_{kon} = 0,1T_c$, $K_{kon} = 20$. Результаты моделирования диагностической системы приведены на рис. 4, 5, 6.

Из анализа спектров входного и выходного сигналов (рис. 4) видно, что использование даже идеальной системы приводит к искажению спектров в наиболее информативном диапазоне частот. Однако воспроизведенный диагностической системой входного сигнала (рис. 5) позволяет идентифицировать процесс накопления дефектности структуры зоны предразрушения. Причем анализ 1,3,5-й гармоник (рис. 6) из-за незначительного их фазового сдвига относительно входа (рис. 3) подтверждает возможность их использования для определения момента окончания 2-го скачка.

На основании сравнения результатов исследования на различных значениях скорости резания можно сделать вывод, что ее изменение в рассмотренном диапазоне не влияет на характер деформационных процессов в зоне предразрушения. Это находит свое подтверждение в сохранении скачкообразного движения первого фрагмента срезаемого слоя и возможности диагностической системы в его воспроизведении.

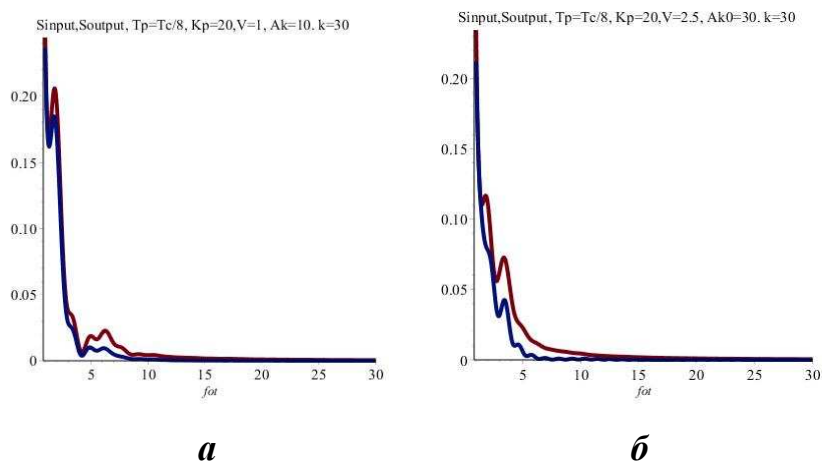


Рис. 4. Спектры составляющих движения первого фрагмента срезаемого слоя: а - $V_p = 1$ м/с; б - $V_p = 2.5$ м/с; 1 - на входе системы; 2 - на выходе

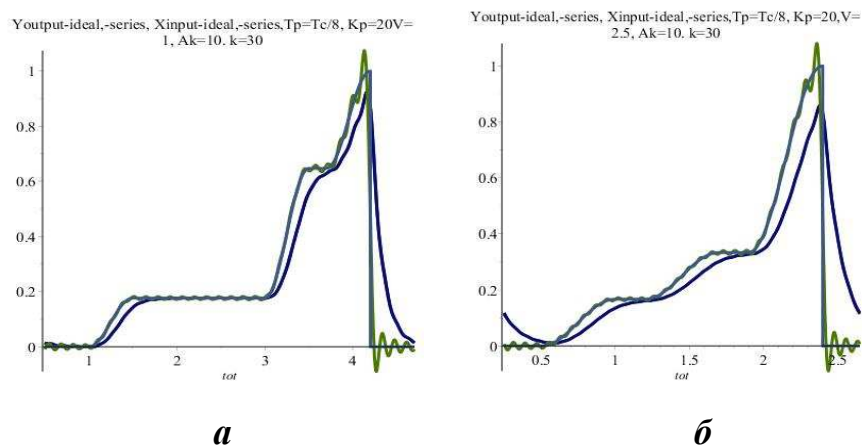


Рис. 5. Движения первого фрагмента срезаемого слоя: а - $V_p = 1$ м/с; б - $V_p = 2.5$ м/с; 1 - на входе системы; 2 - на выходе; 3 - гармоническая аппроксимация входного сигнала

На основании сравнения результатов исследования на различных значениях скорости резания можно сделать вывод, что ее изменение в рассмотренном диапазоне не влияет на характер деформационных процессов в зоне предразрушения. Это находит свое подтверждение в сохранении скачкообразного движения первого фрагмента срезаемого слоя и возможности диагностической системы в его воспроизведении.

Полученный вывод позволяет сократить объем дальнейших исследований и ограничиться рассмотрением воспроизведения входного сигнала различными диагностическими системами, например, на скорости резания $V_p = 2,5$ м/с.

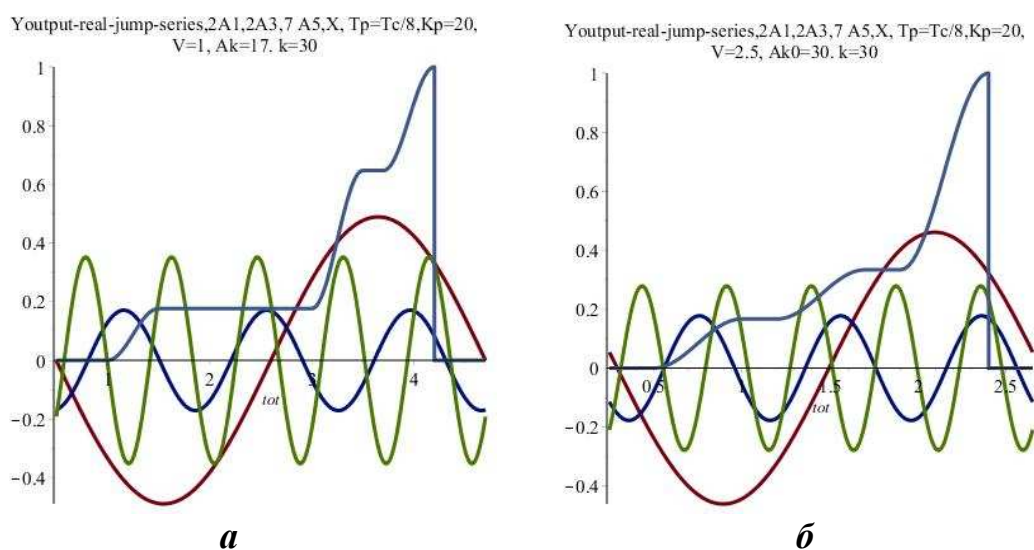


Рис. 6. Движение первого фрагмента срезаемого слоя:
а - $V_p = 1$ м/с; б - $V_p = 2.5$ м/с; 1 - перемещение на входе системы;
2-1-я, 3-3-я, 2-5-я гармоники движения на выходе системы

Увеличение инерционности диагностической системы (12) $T_{kon} = 0,5T_c$ (рис. 7, а, б), показывает о возрастании фазовых сдвигов гармонических составляющих. В случае контроля состояния зоны предразрушения по 1, 3 и 5-й составляющим это может явиться причиной запаздывания необходимых корректирующих воздействий до достижения максимальной величины дефектности структуры, что существенно снижает их эффективность.

В результате проведенных исследований можно видеть, что введение в канал диагностики сигналов по производным от контролируемого параметра (рис. 7, в, г, ж, з, и, к), приводит к существенному ослаблению и искажению выходного сигнала. Увеличение коэффициента усиления канала на два порядка (рис. 7, л, м) не приводит к сколь-нибудь заметному улучшению воспроизведения входного сигнала.

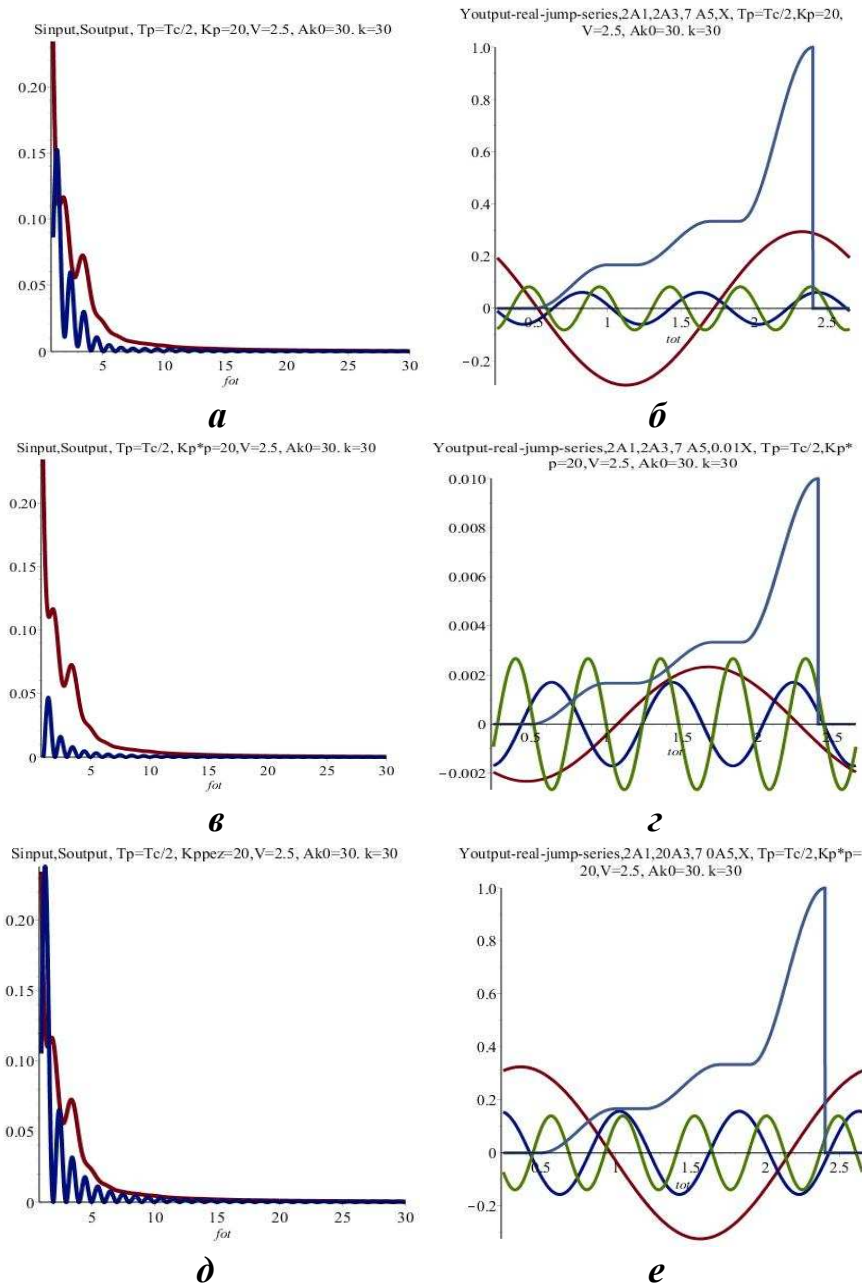


Рис. 7. Параметры входного и выходного сигналов:
а, в, д, ж, и, л - спектры сигналов; **б, г, е, з, к, м** - входной сигнал и гармонические составляющие выходного сигнала; сигналы: **1** - на входе системы; **2** - на выходе; **3-1-я, 4-3-я, 5-5-я** гармоники на выходе системы; для диагностической системы с датчиками:

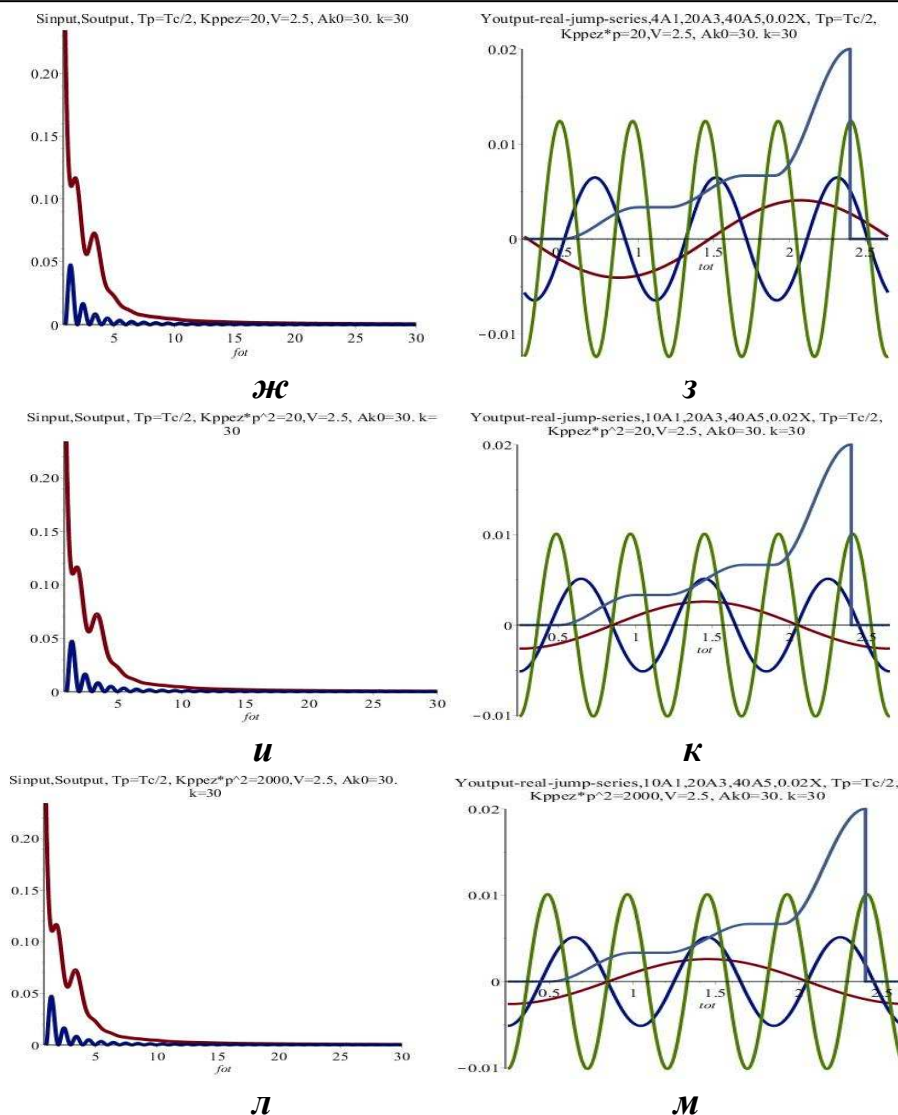
- силы: **а, б** - $T_{kon} = 0,5T_c, K_{kon} = 20, d = 0$;

в, г - $T_{kon} = 0,5T_c, K_{kon} = 20, d = 1$;

- с датчиками движения режущего клина $T_{kon} = 0, K_{kon} = 1, T_p = 0,5T_c, \xi = 0.5$; **д, е** - $K_p = 20, d = 0$; **ж, з** - $K_p = 20, d = 1$;

и, к - $K_p = 20, d = 2$; **л, м** - $K_p = 2 \cdot 10^3, d = 2$

(см. также с.272)



Окончание рис.7.

Во всех рассмотренных случаях любая реальная система характеризуется существенным искажением диагностируемого параметра. В частности, увеличение постоянной времени до $T_{kon} = 0,5T_c$ датчика силы (рис. 8, а) и использование идеального датчика контроля перемещения режущего клина (рис. 8, б) приводят к такому искажению входного сигнала, которое не позволяет воспроизвести скачкообразное движение первого фрагмента срезаемого слоя.

Очевидно, эффективным средством увеличения достоверности информации диагностического канала о состоянии зоны предразрушения остается снижение его инерционности. В качестве перспективного направления решения этой задачи, например на операциях точения, предложено использовать выделенный элемент режущего клина, содержащий все его основные атрибуты, обладающий минимально возможной массой, соизмеримой с массой режущей пластины, и имеющий кинематическую связь с телом инструмента [10, 11, 14].

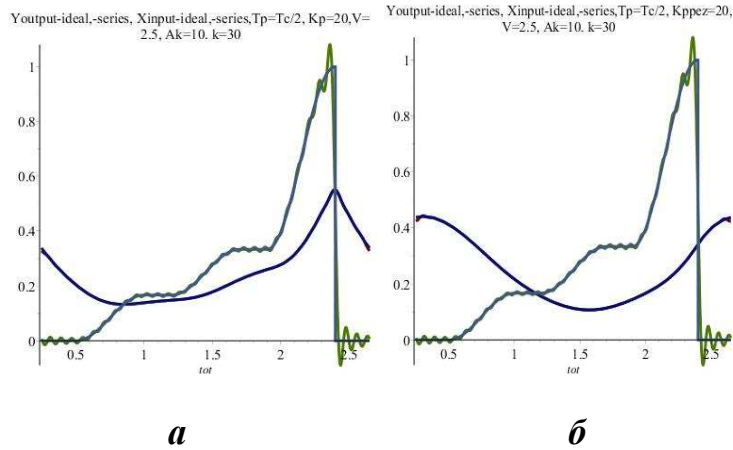


Рис. 8. Параметры входного и выходного сигналов диагностической системы: а - с датчиком силы; б - с датчиком контроля перемещения режущего клина; сигналы: 1 - на входе системы; 2 - на выходе; 3 - гармоническая аппроксимация входного сигнала

Это позволит уменьшить на порядок постоянную времени канала диагностики и увеличить достоверность получаемой информации.

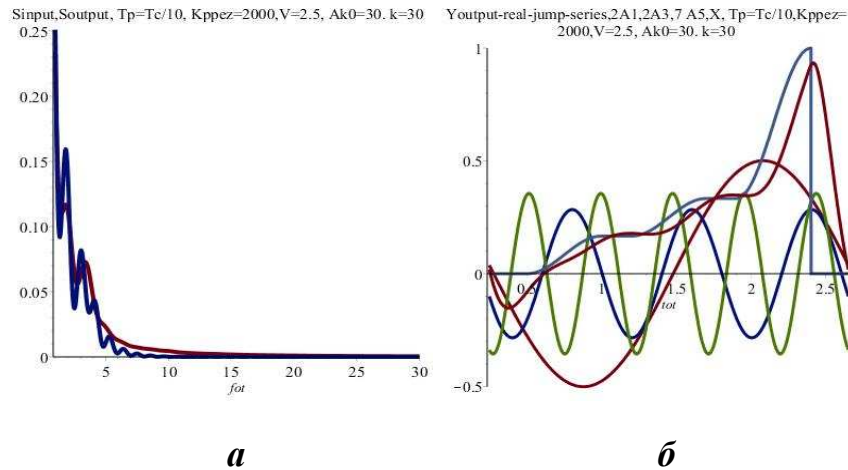


Рис. 9. Параметры входного и выходного сигналов: а - спектры сигналов, б - входной сигнал и гармонические составляющие выходного сигнала; сигналы: 1 - на входе системы; 2 - на выходе; 3-1-я, 4-3-я, 5-5-я гармоники на выходе системы; $T_{kon} = 0, K_{kon} = 1, T_p = 0,5T_c, \xi = 0,5, K_p = 2 \cdot 10^3, d = 0$

При реализации локального управления положением режущей кромки [11, 14, 19] такой подход открывает широкие перспективы создания интеллектуального инструмента.

На основании проведенных исследований можно сделать вывод о том, что построение чувствительных быстродействующих диагностических систем, использующих в частности выделенные элементы режущего клина с основными его атрибутами и кинематической связью с телом ин-

струмента, открывает широкие перспективы для анализ во временной области спектральных составляющих сил, действующих на режущий клин, определения с его помощью состояния зоны упругопластического деформирования материала и формирования на его основе адекватных корректирующих воздействий для повышения эффективности процессов резания.

Работа выполнена в рамках проекта РФФИ 16-48-710339 р_а «Развитие теории высокоэффективных процессов направленного разрушения материалов, основанных на принципах пространственно-временной адаптации вектора воздействия по состоянию упругопластического деформирования зоны предразрушения» и при со финансировании Правительством Тульской области, договор ДС/77.

Список литературы

1. Волков Д.И., Проскуряков С.Л. Разработка модели процесса резания с учетом цикличности формирования стружки // Вестник УГАТУ. Машиностроение. Уфа: Изд-во УГАТУ, 2011. Т.15. №3(43). С. 72-78.

2. Евсеев Л.Л. Исходные положения и зависимости для расчета характеристик динамики процесса резания металлов // Вестник машиностроения. 1995. №12. С. 3-7.

3. Евсеев Л. Л. Расчет оптимальной скорости резания по коэффициенту динамичности процесса стружкообразования // СТИН. 1994. № 4. С. 41- 43.

4. Каллиоппин В.В. Механика волны при резании (Исследование упругой поверхности технологической системы станок – инструмент – деталь). Минск: Наука и техника, 1969. 176 с.

5. Полетика М.Ф. Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента. М.: Машиностроение, 1969. 150 с.

6. Резников А.Н., Резников Л.А. Тепловые процессы в технологических системах. М.: Машиностроение, 1990. 288 с.

7. Рыжкин А.А., Климов М.М., Сергеев Р.В. Особенности стружкообразования при обработке сталей твердыми сплавами с износостойкими покрытиями// Вестник ДГТУ. 2001. Т.1. №1. С. 47-53.

8. Влияние средств технологического оснащения на динамические характеристики оборудования / В.С. Сальников О.А. Ерзин, В.В. Жмурин, А.В. Анцев // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2015. Вып. 12. Ч. 1. С. 33-42.

9. Мониторинг динамических ограничений технологического оборудования / В.С. Сальников О.А. Ерзин, В.В. Жмурин, А.В. Анцев // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2015. Вып. 12. Ч. 1. С. 81-90.

10. Сальников В.С., Долматов Д.И. К прерывистому характеру процесса резания при точении // Известия Тульского государственного университета. Сер. «Технологическая системотехника». 2006. Вып. 12. 186 с.

11. Сальников В.С., Долматов Д.И. Один из аспектов возникновения автоколебаний в технологических системах обработки резанием // Известия Тульского государственного университета. Сер. «Технологическая системотехника». 2006. Вып. 8. 242 с.

12. Талантов Н.В. Влияние условий обработки на контактные процессы и стружкообразование // Совершенствование процессов резания и повышение точности металлорежущих станков: сб. тр. Ижевск: Ижевс. механич. ин-т. 1969. С.46-61.

13. Фельдбаум А.А., Бутковский А. Г. Методы теории автоматического управления. М.: Наука, 1971. 744 с.

14. Шадский Г.В., Сальников С.В. Возможности автоматического управления разрушением зоны резания // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2012. Вып. 2. С. 53-57.

15. Шадский Г.В., Сальников В.С., Ерзин О.А. Динамика процесса резания при вариации переднего угла режущего инструмента // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2016. Вып. 11. Ч. 2. С. 574-584.

16. Шадский Г.В., Ерзин О.А., Сальников С.В. Дискретная модель движения стружки по передней поверхности режущего клина // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2016. Вып. 11. Ч. 2. С. 553-560.

17. Шадский Г.В., Сальников С.В. Математическое описание процесса управления разрушением материала в зоне резания // Известия ТулГУ. Технические науки. 2014. Вып. 11. Ч. 2. С. 395-402.

18. Шадский Г.В., Сальников С.В. Нелинейная модель технологической системы // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2014. Вып. 11. Ч. 2. С. 545 -554.

19. Шадский Г.В., Ерзин О.А., Сальников С.В. Один из аспектов дискретного представления процесса стружкообразования // СТИН - 2017. №8. С. 24-29.

20. Шадский Г.В., Сальников С.В. Управление колебательными процессами в зоне резания // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2012. Вып. 2. С. 36-42.

21. Influence of cutting conditions on the cutting performance of Ti-Al6V4 / GuiGen Ye1, ShiFeng Xue1, XingHua Tong, LanHong Dai // Advanced Materials Research. Vol. 337 (2011). P. 387-391.

Шадский Геннадий Викторович, д-р техн. наук, проф., stanki@uic.tula.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет,

Ерзин Олег Александрович, канд. техн. наук, доц., erzin79@mail.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет,

Сальников Сергей Владимирович, асп., sergeysalnikov@yandex.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет

**DIAGNOSTICS OF THE PREFRACTURE ZONE
IN THE TECHNOLOGICAL SYSTEMS OPERATIONS**

G.V. Shadsky, O.A. Erzin, S.V. Salnikov

Suggested approach to the diagnosis of the state of elastic-plastic deformation of the material in the zone of cutting is based on the analysis of the spectral being. It is confirmed that the phase state zones are well correlated with fluctuations in the cutting forces. It is established that the most informative from the point of view of the degree of structural defects are the first, third and fifth harmonics. It is shown that the controlled-financed project setting and characteristics of the diagnostic system have a substantial effect on the adequacy of the playback state of the cutting zone. The proposed approach opens broad prospects for the analysis of cutting conditions, including the purpose of its intensification.

Key words: elastic-plastic deformation, relaxation processes, cutting forces, cutting wedge, the scan signal, the spectral composition, they, the distortion of the signal.

Shadsky Gennady Victorovich, doctor of technical science, professor, stanki@uic.tula.ru, Russia, Tula, Tula State University,

Erzin Oleg Aleksandrovich, candidate of technical science, docent, erzin79@mail.ru, Russia, Tula, Tula State University,

Salnikov Sergey Vladimirovich, postgraduate, sergeysalnikov@yandex.ru, Russia, Tula, Tula State University

ПРИБЛИЖЕННЫЙ СИНТЕЗ УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫМ САМОЛЕТОМ НА ОСНОВЕ НЕОБХОДИМЫХ УСЛОВИЙ ОПТИМАЛЬНОСТИ ЛОГИКО-ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Е.А. Пегачкова, Е.Л. Кузнецова

Исследуется задача управления беспилотным самолетом, которому необходимо выполнить полет на заданную дальность с минимальными затратами топлива. Оптимальными в смысле экономии топлива являются переключаемые режимы, приводящие к мгновенным многократным переключениям логической части. Рассматривая задачу в классе логико-динамических систем, возможно учитывать неэффективные затраты топлива при частых включениях и выключениях двигателя, поэтому синтезируется управление, реализуемое на практике и позволяющее сэкономить топливо.

Ключевые слова: оптимальное управление, необходимые условия оптимальности, логико-динамические системы, беспилотный летательный аппарат.

Введение

Рассматриваются различные постановки задачи полета беспилотного самолета на заданную дальность: в классе непрерывных детерминированных систем; в классе логико-динамических систем, учитывая невозможность разгона поршневого двигателя при включении на малое время, а также неэффективные затраты топлива при частых включениях/выключениях двигателя. Дальность полета определяется условием полного расхода топлива при непрерывной работе двигателя с постоянной максимальной тягой. Задача полета летательного аппарата с минимальным расходом топлива носит прикладной характер. Для нахождения оптимального управления к поставленным задачам применяются необходимые условия оптимальности [1]. Полученные решения сравниваются с реальным запуском беспилотного самолета Aerosonde [4] при крейсерском режиме, делаются выводы об экономичности и целесообразности применения полученного в работе управления. Решение всех задач производится с использованием разработанного программного комплекса, позволяющего строить траектории движения самолета и вычислять расход топлива на выполнение заданного маневра для различных моделей и параметров беспилотных самолетов.

Общая постановка задачи

Рассматривается задача поиска оптимального управления беспилотным самолетом (Aerosonde) [2,4]. Это небольшой беспилотный летательный аппарат (БПЛА), предназначенный, для сбора данных о погоде (температура, атмосферное давление, влажность и параметры изменения ветра над отдельными районами суши и над океаном). БПЛА Aerosonde оснащен экономичным бензиновым двигателем. Постановка задачи схожа с поставленной В.И. Гурманом [3], но исследуется полет с минимальным

расходом топлива на заданную дальность, определяемую условием полного расхода топлива при непрерывной работе двигателя с постоянной максимальной тягой. Горизонтальный полет происходит в канале тангажа, управление производится по тяге двигателя, что влечет за собой изменение скорости полета и подъемной силы, которая компенсируется изменением угла атаки. Рассмотрим полную нелинейную модель полета самолета:

$$c_x = c_{x0} + \frac{(c_y - c_{y0})^2}{\pi e AR} + c_x^{\delta f} \delta f + c_x^{\delta a} \delta a + c_x^{\delta e} \delta e + c_x^{\delta r} \delta r + c_y^M M ;$$

$$c_y = c_{y0} + c_y^\alpha \alpha + c_y^{\delta f} \delta f + c_x^{\delta e} \delta e + \frac{b_a}{2V} (c_y^\alpha \alpha + c_{y^z} \omega_z) + c_y^M M ;$$

$$c_z = c_z^\beta \beta + c_z^{\delta a} \delta a + c_z^{\delta r} \delta r + \frac{l}{2V} (c_z^{\omega_x} \omega_x + c_z^{\omega_y} \omega_y) + c_z^M M ;$$

$$q = \frac{\rho V^2}{2},$$

где ρ - плотность атмосферы; v - скорость ЛА в связанной системе координат; α - угол атаки; c_x - коэффициент лобового сопротивления; c_{y0} - коэффициент подъемной силы при нулевом угле атаки; c_y^α - коэффициент производной первого порядка по углу атаки; c_{x0} - коэффициент лобового сопротивления при нулевом угле атаки; $c_x^{\delta \alpha}$ - коэффициент производной по управлению рулем высоты; e - коэффициент Освальда; M - число Маха; α, β - углы атаки и скольжения.

Анализируется упрощенная модель полета, рассматриваются только первое приближение, причем задача решается для конкретной модели БПЛА со следующими техническими характеристиками: размах крыла – 2,9 м; длина – 1,7 м; высота – 0,6 м; площадь крыла – 0,57 кв. м.; максимальная скорость – 140 км/ч; максимальная высота полета – 4500 м; максимальная взлетная масса – 13,5 кг; максимальная дальность полета – 3000 км; бензиновый двигатель Erua R120 мощностью 1280 Вт; продолжительность полета до 48 ч; расход топлива от 283 до 122 г/ч. В 2001 году Aerosonde находился в воздухе 26 ч 45 мин, потратив всего 5,7 л бензина, полет происходил автономно, без внешнего контроля и на высоте 1680 м.

Учитывая допущения и технические характеристики, движение центра масс летательного аппарата можно описывать системой уравнений

$$\begin{cases} \dot{x} = v; \\ \dot{v} = \frac{1}{m} \left(- \left[c_{x0} + \frac{c_x^{\delta \alpha}}{c_y^\alpha} \left(\frac{mg}{S\rho(h)\frac{v^2}{2}} - c_{y0} \right) \right] S\rho(h)\frac{v^2}{2} + T \right); \\ \dot{m} = -\mu u, \end{cases} \quad (1)$$

где $\rho(h) = 1.1455 \text{ кг/м}^3$ - плотность атмосферы; $m = 13,5 \text{ кг}$ - масса ЛА; $g = 9.8 \text{ м/с}^2$ - ускорение свободного падения; $S = 0.55 \text{ м}^2$ - площадь крыла; v - скорость ЛА; α - угол атаки; c_x - коэффициент лобового сопротивления; $c_x = -0.23$ - коэффициент подъемной силы при нулевом угле атаки; $c_y^\alpha = 5.6106$ - коэффициент производной первого порядка по углу атаки; $c_{x0} = 0.0434$ - коэффициент лобового сопротивления при нулевом угле атаки; $c_{x\delta\alpha} = 0.0302$ - коэффициент производной по управлению рулем высоты; $\beta = 0.00007 \text{ кг/с}$ - расход рабочего тела через двигатель в единицу времени (секундный расход); $U = 22 \text{ Н}$ - тяга двигателя.

Рассмотрим крейсерский режим полета. Для приближенного решения задачи был создан программный комплекс в среде Delphi, позволяющий моделировать реальный режим запуска БПЛА. На рис.1 показана зависимость скорости от времени. Максимальная скорость, дальность полета, значение минимальной и максимальной скоростей характеризуются техническими характеристиками БПЛА. При скорости менее 10 м/с происходит "сваливание".

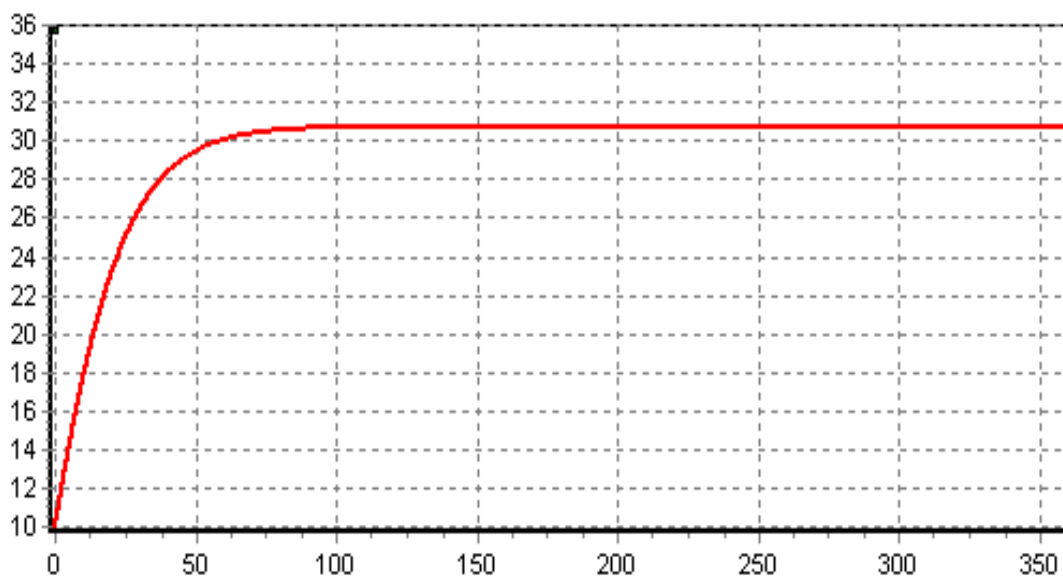


Рис 1. Полет с максимальной скоростью

Отметим, что рассматривая задачу с учетом того, что двигатель во время полета можно включать и выключать, т.е. переключаться между максимальной тягой и пассивным участком, когда двигатель не работает, можно получить экономию топлива по сравнению с полетом с постоянной скоростью. Сравнение переключательного режима полета и полета с постоянной тягой приведено в табл. 1.

Таблица 1

Сравнение переключательного режима полета и полета с постоянной тягой

Переключательный режим	Режим с постоянной тягой
$v_{\text{средняя}} = 30,75$ м/с, общее время $t = 3\ 158$ с (дальность 100 км)	
Тяга двигателя $U_{\text{max}} = 22$ Н $v_{\text{max}} = 39,1$ м/с Количество включений 877 Расход топлива 1,467 усл.ед. Включение 2,5 с / планирование 1,5 с Расход за 1 такт: $2,5 \cdot 1,467 = 3,668$ у.е. Общие затраты топлива: 4,022 кг	Тяга двигателя $U = 14$ Н Количество включений 1 Расход топлива 1 усл.ед. Включение 4 с Расход за 1 такт: $4 \cdot 1 = 4$ у.е. Общие затраты топлива: 4,305 кг

Рассмотрим, например, режим со средней тягой 14Н из расчета фиксированной средней скорости и фиксированной дальности, он даёт приблизительно 7 % экономии топлива по сравнению с крейсерским режимом, хотя этот переключательный режим был выбран произвольно без применения условий оптимальности.

Моделирование полета в классе непрерывных систем

Учитывая возможность экономии топлива при переключательных режимах управления, рассмотрим задачу в классе непрерывных систем. Горизонтальный полет описывается системой дифференциальных уравнений (1). Требуется найти оптимальный процесс, минимизирующий расход топлива:

$$I = \int_{t_0}^{t_1} \mu u(t) dt.$$

Для решения поставленной задачи используем необходимые условия оптимальности непрерывных систем.

Применяя принцип максимума к поставленной задаче, получаем, что оптимальное движение БПЛА состоит из чередующихся участков активного и пассивного движения, т.е. на активных участках двигатель включается с максимальной тягой, в остальное время двигатель выключен. Минимизация функционала, отвечающего за расход топлива, приводит к бесконечной последовательности импульсных включений двигателя с максимальной тягой. Таким образом, двигатель включается с максимальной тягой на минимальное время, но этих импульсов нужно делать как можно больше, за счет чего общее время полета неограниченно возрастает. При нахождении оптимального управления движением БПЛА оптимизация ведется по количеству запусков двигателя (переключений). На рис. 2 показана зависимость скорости летательного аппарата от времени.

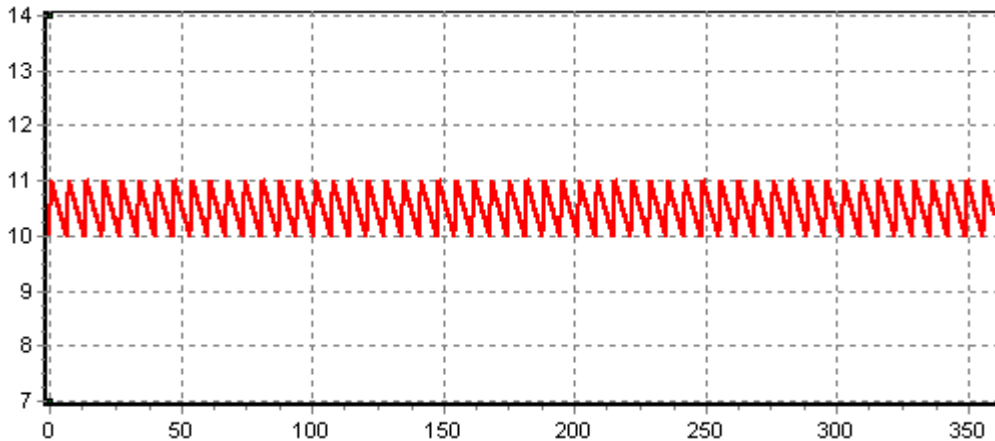


Рис. 2. Изменение скорости при переключательном режиме полета

В результате минимизации получен процесс с 19 196 включениями двигателя. Общее время полета БПЛА составляет 229 606 с (63,7 ч). Расход топлива равен 1,906 кг.

Моделирование задачи в классе ЛДС

Учитывая невозможность разгона двигателя при включении на малое время, а также неэффективные затраты топлива при включениях двигателя было решено рассматривать задачу в классе ЛДС. При запуске двигателя максимальная тяга достигается не сразу, часть топлива тратится на переходный процесс, поэтому будем учитывать перерасход топлива при включении и выключении двигателя от его запуска до достижения заданной тяги.

Поведение модели ЛДС описывается уравнениями

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{x} = v, \\ \dot{v} = \frac{1}{m} \left(- (c_{x0} + c_x \delta \alpha) S \rho \frac{v^2}{2} + y U_{\max} \right), \\ \dot{m} = -\beta, \\ \alpha = \frac{1}{c_y} \left(\frac{mg}{S \rho \frac{v^2}{2}} - c_{y0} \right). \end{array} \right. \quad (2)$$

где $y(t) \in Y$ - состояние автоматной (логической) части системы, $Y \in [0;1]$ - множество возможных состояний автоматной части. Кусочно-постоянная непрерывная справа функция $y(\cdot) : [t_0, t_1] \rightarrow Y$ задает траекторию автоматной части ЛДС. Она связана с тягой $u(\cdot)$ двигателя в модели (1) равенством

$$u(t) = U_{\max} y(t), \quad t_0 \leq t \leq t_1,$$

т.е. значение $y(t)$ определяет рабочее состояние двигателя: $y = 0$ - двигатель выключен, $y \neq 0$ - двигатель включен. Требуется найти допустимый процесс, минимизирующий функционал

$$I = \int_{t_0}^{t_1} \mu U_{\max} y(t) dt + \sum_{\tau} \lambda, \quad (3)$$

где $\lambda > 0$ - штраф за включение двигателя. Суммирование в функционале происходит по всем моментам времени τ включения двигателя.

Для нахождения оптимального режима полета к задаче (2), (3) применялись необходимые условия [1], причем найденное управление равносильно управлению, полученному при помощи принципа максимума в классической постановке задачи (для непрерывной системы) [3]. Таким образом, используя оптимальную структуру автоматной части, задача в классе ЛДС сводится к конечномерной оптимизации - поиску оптимальных моментов включения и выключения двигателя.

Использовалась величина штрафа $\lambda = 0,01$, учитывающая, что приблизительно 5-10 % топлива при включении и выключении двигателя расходуется неэффективно. Зависимость скорости от времени приведена на рис. 3.

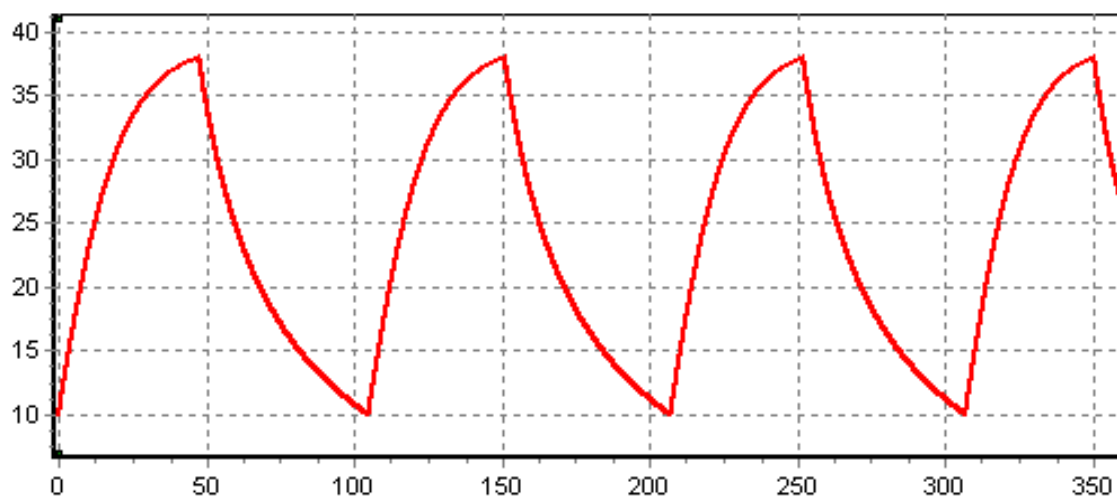


Рис.3. Оптимальный режим для ЛДС

В результате оптимизации получен процесс с 1165 включениями двигателя, общее время полета БПЛА составило 106 641 с (приблизительно 29,6 ч). Наименьшее и наибольшее допустимые значения скорости соответственно равны $v_{\min} = 10$ м/с, $v_{\max} = 39,15$ м/с.

Сравнительный анализ полученных режимов

На основе полученных результатов можно произвести сравнительный анализ режимов с одинаковой дальностью полета, результаты которого приведены в табл. 2.

Таблица 2

Сравнительный анализ режимов с одинаковой дальностью полета

Режим полета	Полет с максимальной скоростью	Переключательный режим с минимальным временем	Моделирование полета в классе непрерывных систем	Моделирование полета в классе ЛДС
Расход топлива	5 кг	4,822 кг	1,906 кг	3,64 кг
Экономия топлива	0 %	3,56 %	61,88 %	27,2 %
Количество включений	1	9 000	19 196	1 165
Продолжительность включений (начало /конец)	64 516 с (17,9 ч)	9,3 с 5,1 с	0,7 с 0,4 с	48,2 с 33,65 с
Продолжительность планирования (начало/конец)	0 с	0,65 с 0,4 с	6 с 3,8 с	58,4 с 44,7 с
Общее время полета	64 516 с (17,9 ч)	67 060 с (18,6 ч)	229 606 с (63,7 ч)	106 641 с (29,6 ч)
Максимальная / минимальная скорость (м/с)	$v_{\min} = 10$ $v_{\max} = 39,15$	$v_{\min} = 37$ $v_{\max} = 38$	$v_{\min} = 10$ $v_{\max} = 11$	$v_{\min} = 10$ $v_{\max} = 38$

Переключательный режим с минимальным временем показывает результаты лучше, чем крейсерский режим, в классе непрерывных систем получаем предельно возможную экономию топлива 61,88 %, но время полета сильно возрастает (приблизительно на 255 %) и необходимо выполнить больше 19 тысяч переключений, что гораздо больше по сравнению с предыдущими режимами и не позволяет реализовать этот режим на практике, т.к. задача ограничена техническими характеристиками БПЛА. Поэтому задача была рассмотрена в классе ЛДС. Этот режим можно реализовать и он дает 27,2 % экономии топлива по сравнению с крейсерским режимом. Таким образом, можно прийти к выводу, что наиболее эффективный режим – режим в классе логико-динамических систем.

Заключение

Составлена упрощенная модель полета беспилотного самолета с поршневым двигателем. Получено решение прикладной задачи полета с минимальным расходом топлива на заданную дальность, которая определяется условием полного расхода топлива при непрерывной работе двигателя с постоянной тягой в классе непрерывных и в классе логико-динамических систем. Применены необходимые условия оптимальности. Разработан программный комплекс, позволяющий находить приближенное решение задачи для различных БПЛА в классе непрерывных систем и в классе ЛДС. Произведен сравнительный анализ, полученных результатов, показано, что оптимальным в смысле экономии топлива является режим с множественными переключениями, который невозможно реализовать на практике, поэтому, учитывая технические особенности летательного аппарата, наиболее экономичным является управление, полученное в классе логико-динамических систем. В статье произведено исследование задачи в рамках скоростных режимов, аналогично [3]. При этих режимах продолжительность работы двигателя разная за счет переменной массы БПЛА, включения происходят при достижении минимальной скорости (10 м/с), а выключению при достижении максимальной (по техническим характеристикам это около 40 м/с, но при разных режимах полета и в процессе оптимизации этот параметр меняется), также в качестве параметра оптимизации можно использовать время активных участков и именно по их продолжительности проводить оптимизацию.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации МК-1664.2017.8, МД-3 98.2017.8.

Список литературы

1. Бортакровский А.С. Необходимые условия оптимальности управления логико-динамическими системами // Известия РАН. Теория и системы управления. 2007. №6. С. 16-33.
2. Пегачкова Е.А., Кузнецова Е.Л., Горбунова Ю.А. Управление беспилотным самолетом методом динамического программирования в теории графов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2016. Вып. 11. Ч. 2. С. 352-359.
3. Гурман В.И. Вырожденные задачи оптимального управления. М.: Наука, 1977.
4. Авторский сайт Андрея Миронова про беспилотную технику и др. [Электронный ресурс] URL: <http://bespilotie.ru/aerosonde/> (дата обращения: 10.09.2017).
5. N Non-stationary heat transfer in anisotropic bodies with general anisotropy and given distributed heat sources/ V.F.Formalev, Ek.L.Kuznetsova, S.A.Kolesnik, E.A.Pegachkova // International Journal of Pure and Applied Mathematics. 2017. Vol. 115. No. 3. P. 585-597.

Пегачкова Елена Александровна, канд. физ.-мат. наук, доц., pegachkova@mail.ru, Россия, Москва, Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),

Кузнецова Екатерина Львовна, д-р физ.-мат. наук, проф., lareyna@mail.ru, Россия, Москва, Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)

APPROXIMATE CONTROL SYNTHESIS OF UNMANNED FLYING VEHICLE
ON THE BACKGROUND OF NECESSARY CONDITIONS OF THE OPTIMALITY
OF LOGICAL-DYNAMICAL SYSTEMS

E.A. Pegachkova, Ek.L.Kuznetsova

The flight control and fuel consumption minimization problem is studied for an unmanned flying vehicle with prescribed flight range. The optimum fuel saving control consists in switching regimes leading to instantaneous switching of the logical part. Considering this problem as a logical-dynamical system allows one to take into account for the inefficient fuel consumption resulted by frequent engine pull-ins and pull-outs. Thus, the synthesis of the practicable control leading to fuel economy can be performed.

Key words: optimal control, necessary conditions of optimality, logical-dynamical systems, unmanned flying vehicles.

Pegachkova Elena Aleksandrovna, candidate of physical and mathematical sciences, docent, pegachkova@mail.ru, Moscow, Russian Federation, Moscow Aviation Institute (National research university),

Kuznetsova Ekaterina Lvovna, doctor of physical and mathematical sciences, professor, lareyna@mail.ru, Moscow, Russian Federation, Moscow Aviation Institute (National research university)

УДК 621.983; 539.374

ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ И ВОЗМОЖНОСТЕЙ ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ ТОНКОСТЕННОЙ ТРУБНОЙ ЗАГОТОВКИ ИЗ СПЛАВА VT14 ПРИ ЕЕ РАЗДАЧЕ В ИЗОТЕРМИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

А.А. Пасынков, А.С. Аккуратнова

В авиационно-космической технике, в частности в топливных системах летательных аппаратов, широко распространены различного вида трубы и переходники. Рациональной технологией их получения является обработка давлением в режиме вязкопластического течения. Но, к сожалению, теория формоизменения трубных заготовок в режиме вязкопластического течения мало изучена. Поэтому актуальной является цель данной работы – оценка напряженно-деформированного состояния тонкостенной трубной заготовки из титанового сплава VT14 при ее раздаче в изотермических условиях. В статье представлены результаты исследований процесса раздачи трубной заготовки в изотермических условиях, основанные на компьютерном моделировании.

Ключевые слова: формоизменение, раздача, труднодеформируемые цветные сплавы, сила, пуансон, матрица.

В авиационно-космической технике, в частности в топливных системах летательных аппаратов широко распространены различного вида трубы и переходники. И, в связи с тем, что они используются в летательных аппаратах к ним предъявляются жесткие требования по прочностным характеристикам. Но одновременно с прочностью данных изделия должны обладать небольшим весом. Одновременным сочетанием таких характеристик как малый вес и прочность обладают титановые сплавы. Однако их деформирование весьма затруднительно в виду требуемых сил и возможной их разрушаемости в процессе формоизменения. А так как данные сплавы необходимы для изготовления трубопроводных систем летательных аппаратов, которые, в свою очередь, характеризуются малой толщиной стенки, то их формоизменение в обычных условиях невозможно. В связи с этим становится актуальной их обработка давлением в режиме вязкопластического течения. Но к сожалению теория формоизменения трубных заготовок в режиме вязкопластического течения мало изучена [1-10]. Поэтому актуальной является цель данной работы – оценка напряженно-деформированного состояния и возможностей формоизменения тонкостенной трубной заготовки из титанового сплава VT14 при ее раздаче в изотермических условиях.

Далее приводятся результаты компьютерного моделирования процесса раздачи тонкостенных труб из трудноформируемого титанового сплава. Исследования выполнялись для титанового сплава VT14. Этот сплав характеризуется значительным сопротивлением деформированию. Использовались заготовки длиной 35 мм при диаметре 20 мм. Радиус переходов конических участков в цилиндрические 1...7 мм; угол конусности инструмента 15...35 градусов; толщина заготовки 1...3 мм. Трение меня-

лось в диапазоне 0,1...0,8 что соответствует реальной смазке – жидкое стекло (значение коэффициента трения при этом 0,1), а также без смазки (значение коэффициента трения при этом 0,8).

На рис.1 представлены схемы к оценке напряженного состояния заготовки при раздаче изотермических условиях для разных значений высот раздаваемых участков.

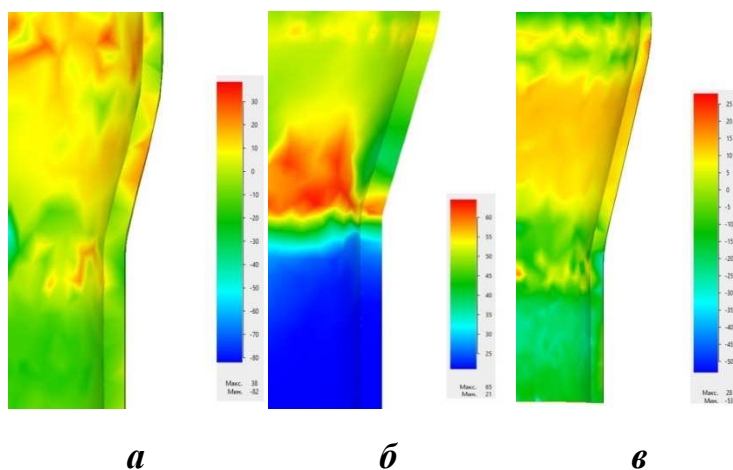


Рис. 1. К оценке напряженного состояния заготовки при раздаче в изотермических условиях ($s = 1$ мм; $\alpha = 35^\circ$; $r = 1$ мм; $\mu = 0,1$; $V = 0,1$ мм/с): а - $h = 7$ мм; б - $h = 10$ мм; в - $h = 15$ мм

Как видно из представленных выше схем, что с ростом высоты раздаваемых участков значения напряжений уменьшаются. Наибольшие напряжения сосредоточены на местах перехода из цилиндрических в конические участки.

На рис.2 представлены схемы к оценке напряженного состояния заготовки при раздаче изотермических условиях для разных значений угла конусности пуансона.

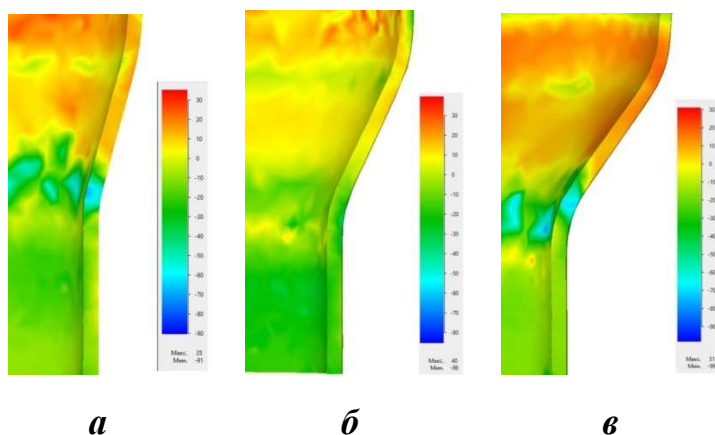


Рис. 2. К оценке напряженного состояния заготовки при раздаче в изотермических условиях ($s = 1$ мм; $r = 7$ мм; $V = 0,1$ мм/с; $\mu = 0,1$): а - $\alpha = 15^\circ$; б - $\alpha = 25^\circ$; в - $\alpha = 35^\circ$

Как видно из данных схем, с ростом значений угла конусности пуансона величины напряжений растут.

На рис.3-4 представлены схемы к оценке критических деформаций в заготовке при раздаче изотермических условиях.

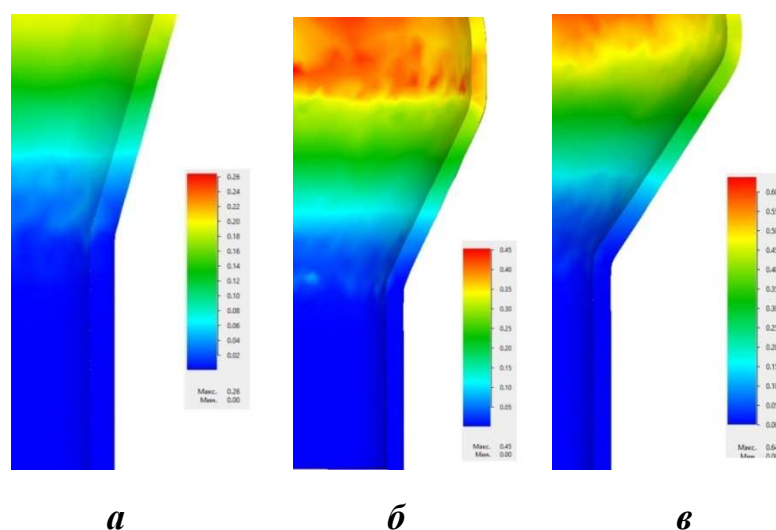


Рис. 3. Схемы к оценке критических деформаций в заготовке при раздаче в изотермических условиях ($s = 1$ мм; $r = 1$ мм; $V = 0,1$ мм/с; $\mu = 0,1$): а - $\alpha = 15^\circ$; б - $\alpha = 25^\circ$; в - $\alpha = 35^\circ$

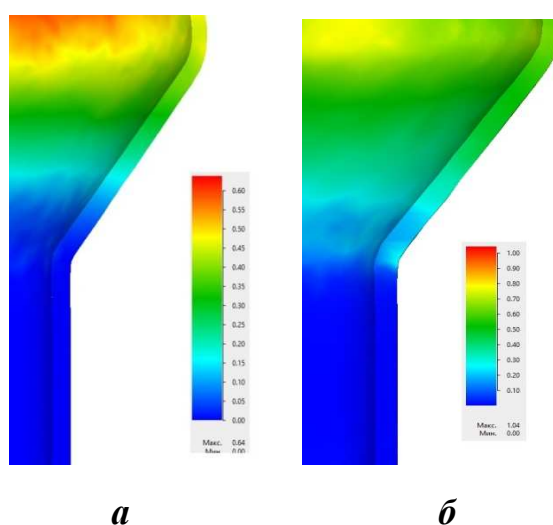


Рис.4. Схемы к оценке критических деформаций в заготовке при раздаче в изотермических условиях ($s = 1$ мм; $\alpha = 35^\circ$; $r = 1$ мм; $\mu = 0,1$): а - $V = 0,1$ мм/с; б - $V = 10$ мм/с

Как видно из представленных схем с ростом угла конусности инструмента, ростом скорости деформирования и относительной высоты конического участка значения критических деформаций растут. Наибольшее влияние на критические деформации оказывает угол конусности. В нашем случае ни при одном из рассматриваемых факторов разрушения не насту-

пает. Однако при увеличении скорости деформирования критические деформации резко растут. И при скорости, большей 10 мм/с возможно разрушения виде трещин на раздаваемом участке.

На рис.5 представлены зависимости силы изотермической раздачи от угла конусности инструмента и трения на инструменте и заготовке.

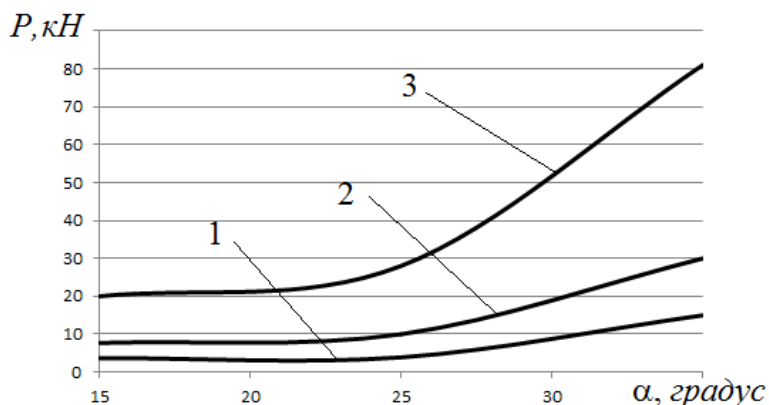


Рис. 5. Зависимость силы раздачи от угла конусности инструмента:
 1 - $\mu = 0,1$; 2 - $\mu = 0,4$; 3 - $\mu = 0,8$

Из данной зависимости видно, что с ростом угла конусности инструмента, ростом трения сила раздачи растет. Наибольший прирост в силе происходит после увеличения угла конусности инструмента выше, чем 25 градусов.

Из данной зависимости видно, что с ростом коэффициента раздачи и радиуса закругления инструмента сила раздачи падает. Наибольший прирост в силе происходит при значениях коэффициента раздачи 0,65 и ниже.

На рис.6 показаны зависимости к оценке критических деформаций в заготовке от технологических факторов, полученные из анализа результатов исследований.

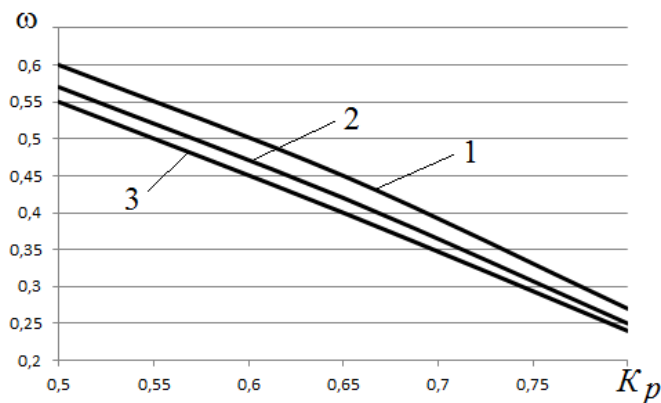


Рис. 6. Зависимость повреждаемости от коэффициента раздачи:
 1 - $R = 1$ мм; 2 - $R = 3$ мм; 3 - $R = 7$ мм

Установлено, что ростом уменьшением раздачи вероятность разрушения материала заготовки заметно падает. С увеличением радиусов переходов на инструменте повреждаемость так же уменьшается.

Выявлено, что с ростом скорости деформирования и угла конусности инструмента повреждаемость растет. Ту же самую картину можно наблюдать при увеличении высоты конического участка заготовки.

На базе проведенного моделирования операции раздачи тонкостенных заготовок из труднодеформируемого сплава, были выявлены оптимальные форма и размеры инструмента, обеспечивающие наилучшие качественные показатели получаемых деталей и минимальную силу деформирования. Установлена рациональность использования изотермической штамповки.

Список литературы

1. Теория пластических деформаций металлов / Е.П. Унксов [и др.]. М.: Машиностроение, 1983. 598 с.
2. Романов К.И. Механика горячего формоизменения металлов. М.: Машиностроение, 1993. 240 с.
3. Metastable material conditions for forming of sheet metal parts combined with thermomechanical treatment/ Kräusel Verena, Birnbaum Peter, Kunke Andreas, Wertheim Rafael // CIRP Annals - Manufacturing Technology. Volume 65. Issue 1. 2016. Pages 301-304.
4. Determination of optimal gas forming conditions from free bulging tests at constant pressure/ S.A.Aksenov, E.N.Chumachenko, A.V.Kolesnikov, S.A.Osipov // Journal of Materials Processing Technology. Volume 217. 2015. Pages 158-164.
5. Малинин Н.Н. Ползучесть в обработке металлов. М.: Машиностроение, 1986. 216 с.
6. Изотермическое деформирование высокопрочных анизотропных материалов / С.П. Яковлев, В.Н. Чудин, С.С. Яковлев, Я.А. Соболев. М.: Машиностроение, 2004. 427 с.
7. Изотермическое формоизменение анизотропных материалов жестким инструментом в режиме кратковременной ползучести / С.С. Яковлев, С.П. Яковлев, В.Н. Чудин, В.И. Трегубов, А.В. Черняев. М.: Машиностроение, 2009. 412 с.
8. Пасынков А.А., Перепелкин А.А. Влияние анизотропии материала заготовки на силовые параметры раздачи в режиме кратковременной ползучести // Вестник ТулГУ. Автоматизация: проблемы, идеи, решения. Тула: Изд-во ТулГУ, 2015. С. 113-117.

Пасынков Андрей Александрович, канд. техн. наук, доц., mpf-tula@rambler.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет,

Аккуратнова Анастасия Сергеевна, студент, mpf-tula@rambler.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет

ESTIMATION OF THE STRESS-DEFORMED STATE AND POSSIBILITIES
OF FORMATION OF THIN-WALL TUBULAR COLLECTION FROM ALLOY VT14
AT ITS DISTRIBUTION IN ISOTHERMAL CONDITIONS

A.A. Pasyнков, A.S. Akkuratnova

In aerospace engineering, in particular in the fuel systems of aircraft, various types of pipes and adapters are widely used. The rational technology for their production is pressure treatment in the mode of viscoplastic flow. But unfortunately, the theory of the shaping of tube blanks in the viscoplastic flow regime has been little studied. Therefore, the purpose of this work is to evaluate the stress-strain state of a thin-walled tube billet from a titanium alloy VT14 when it is distributed under isothermal conditions. The article presents the results of studies of the process of distributing pipe billets under isothermal conditions, based on computer simulation.

Key words: shape change, distribution, hard-deformable non-ferrous alloys, force, punch, matrix.

Pasyнков Andrey Aleksandrovich, candidate of technical sciences, associate professor, mpf-tula@rambler.ru, Russia, Tula, Tula State University,

Akkuratnova Anastasiya Sergeevna, student, mpf-tula@rambler.ru, Russia, Tula, Tula State University

УДК 621.983

ИССЛЕДОВАНИЕ АНИЗОТРОПИИ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЛИСТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ВИДЕ ПОЛОС ИЛИ ЛЕНТ

С.С. Яковлев

Предложена новая методика определения коэффициентов анизотропии механических свойств листовых материалов, позволяющая использовать ее для определения наличия плоскостной анизотропии у широкой номенклатуры типоразмеров: от узких полос или лент до листов. Предлагаемая методика менее трудоемка и заключается в проведении технологических испытаний на вытяжку детали типа «Стакан» и растяжении образца, вырезанного вдоль направления прокатки. Предлагаемая методика может использоваться для исследования плоскостной анизотропии при нормальных и повышенных температурах.

Ключевые слова: анизотропия механических свойств, коэффициент анизотропии, плоскостная анизотропия, узкие полосы и ленты, фестонообразование, высота фестонов, направление к прокатке, вытяжка.

Большинство листовых материалов обладает плоскостной анизотропией, которая оказывает существенное влияние на технологические процессы листовой штамповки. Существующая методика определения плоскостной анизотропии [1] позволяет установить ее наличие в листах,

широких полосах или лентах,используемых при штамповке крупно- и среднегабаритных деталей. При листовой штамповке малогабаритных деталей широко применяются узкие полосы или ленты, плоскостную анизотропию механических свойств которых затруднительно определять по известной методике, по которой требуется вырезать образцы в различных направлениях 0° , 45° , 90° относительно направления к прокатке полосы или ленты с последующим испытанием их на растяжение. Для узких полос или лент вырезать образцы под 45° или 90° с размерами, рекомендованными ГОСТ 1497-84 или 11701-84 невозможно. Вырезка пропорциональных образцов уменьшает точность определения механических свойств материала. Метод испытания весьма трудоемок. Поэтому актуальной задачей является разработка метода определения плоскостной анизотропии для любой номенклатуры листовых материалов (листов, полос, лент).

Известно, что при вытяжке деталей типа «Стакан» из листовых материалов, обладающих плоскостной анизотропией механических свойств на кромке детали в большинстве случаев возникают четыре фестоны [2] (рис. 1).

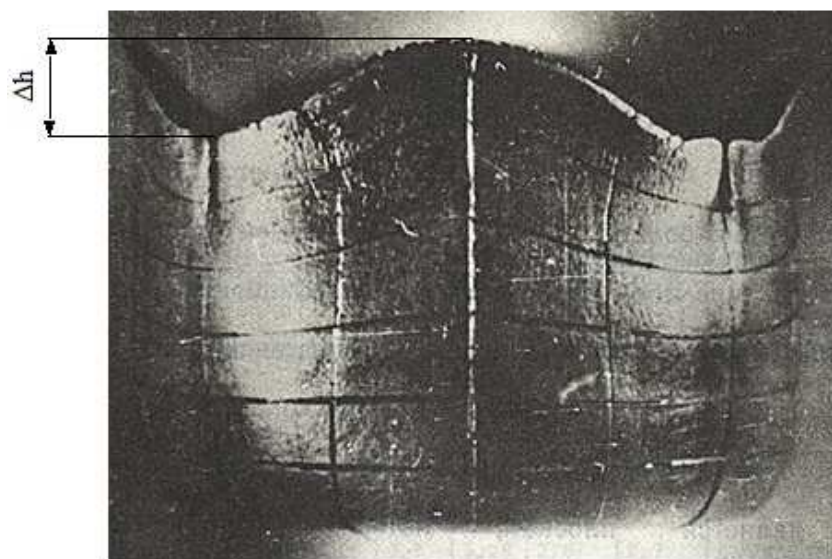


Рис. 1. Фестонообразование при вытяжке алюминиевого сплава АМцАМ, обладающего плоскостной анизотропией механических свойств

Высота фестонов зависит в основном от коэффициента вытяжки и плоскостной анизотропии механических свойств материала. Чем больше плоскостная анизотропия и меньше коэффициент вытяжки, тем больше высота фестонов. В условиях плоского напряженного состояния наиболее важными характеристиками анизотропии листового материала является коэффициент анизотропии R_α и сопротивление материала пластическому деформированию $\sigma_{s\alpha}$. Коэффициент анизотропии вычисляется по выражению

$$R = \varepsilon_b / \varepsilon_h, \quad (1)$$

где ε_b и ε_h - соответственно деформации по ширине и толщине:

$$\varepsilon_b = \ln\left(b_1/b_0\right), \quad \varepsilon_h = \ln\left(h_1/h_0\right),$$

b_1 и h_1 – соответственно конечная ширина и толщина, а b_0 и h_0 – соответственно начальные ширина и толщина.

При исследовании плоскостной анизотропии в узких полосах и лентах, имеется возможность рассчитать коэффициент анизотропии при растяжении плоских образцов, вырезанных только вдоль направления прокатки. Наличие же плоской анизотропии в узких полосах и лентах можно определять с помощью технологических испытаний на вытяжку с получением образца в виде «Стакана» (рис. 1). Для проведения технологических испытаний из узкой полосы или ленты вырубается заготовка в виде кружка и проводится вытяжка с коэффициентом вытяжки, например, $m=0,5$. Если на кромке образца образуются фестоны, то материал обладает плоскостной анизотропией механических свойств и возникает необходимость определения коэффициентов анизотропии в различных направлениях к прокатке. Четыре фестона могут образовываться, как правило вдоль или поперек прокатки, или под 45° . Направление образования фестонов совпадает с максимальным значением коэффициента анизотропии, поэтому после технологических испытаний необходимо учитывать направление образования фестонов. В полученном «Стакане» (рис. 1) измеряется высота фестона Δh . Было установлено [1], что для устранения фестонов можно использовать профильную заготовку (рис. 2), при вытяжке которой фестонобразование отсутствует. Для расчета контура профильной заготовки необходимо определить максимальный R_z и минимальный R_x радиусы. Минимальный радиус R_x можно рассчитать по зависимости

$$\frac{R_x}{R_m} = \left[1 + \frac{(2+f_\phi)(k^{2+f_b}-1)}{2+f_b} \right]^{\frac{1}{(2+f_\phi)}}, \quad (2)$$

где

$$f_\phi = -\frac{1}{1 + R_{max}}; \quad (3)$$

$$f_b = -\frac{1}{1 + R_{min}}. \quad (4)$$

В случае, если фестоны образовались вдоль и поперек направления к прокатке, то по результатам испытания на растяжение плоского образца определяется максимальная величина коэффициента анизотропии по выражению (1). Это даёт возможность по зависимости (3) рассчитать величину f_ϕ . Таким образом в выражении (2) известной величиной является f_ϕ .

Если фестоны образовались под 45° в направлении к прокатке, то по результатам испытаний на растяжение плоского образца определяют минимальные коэффициенты анизотропии R_{min} и рассчитывают по зависимости (4) величину f_B , а в выражении (2) известной величиной будет f_B .

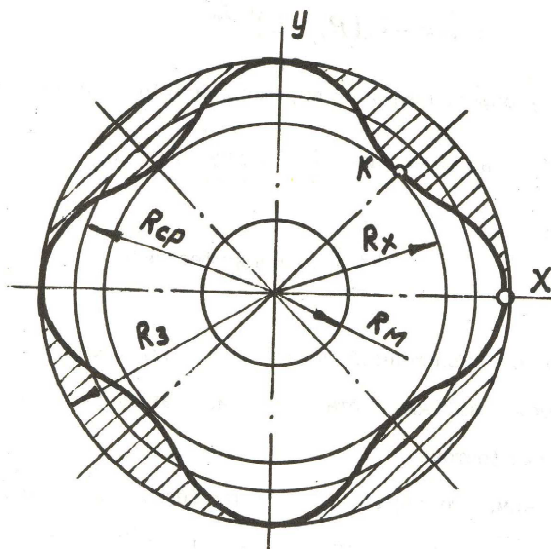


Рис. 2. Контур профильной заготовки, при вытяжке которой не образуются фестоны

Для определения значения радиуса R_x профильной заготовки может использоваться зависимость

$$R_x = \sqrt{R_3^2 - 2 \times R_m \times \Delta h}. \quad (5)$$

С использованием системы компьютерной алгебры при решении уравнения (2) определяются неизвестные величины f_B или f_ϕ . С использованием выражений (3) и (4) рассчитываются R_{max} и R_{min} :

$$R_{max} = -1/f_\phi - 1; \quad (6)$$

$$R_{min} = -1/f_B - 1. \quad (7)$$

В качестве примера рассмотрим определение плоскостной анизотропии алюминиевого сплава АМцАМ [1]. При растяжении плоского образца, вырезанного вдоль прокатки, был получен коэффициент анизотропии $R_0 = 0,279$. При технологических испытаниях на вытяжку заготовки диаметром 100 мм с коэффициентом вытяжки $m = 0,55$ был получен колпак. Была измерена высота фестона как разность высоты «Стакана» по фестону и по впадине, расположенной вдоль направления к прокатке $\Delta h = 3$ мм. Также измерялась высота этого фестона как разность его высоты с высотой по впадине, расположенной под 90° относительно направления к прокатке $\Delta h = 2,8$ мм. При растяжении образца, вырезанного вдоль направления к прокатке, был определён коэффициент анизотропии, с по-

мощью которого по зависимости (4) находили $f_b = -0,78$. По зависимости (5) рассчитывался минимальный радиус профильной заготовки $R_x = 48,3$ мм. С использованием выражения (2) определялось значение $f_\phi = -0,51$. Далее по выражению (6) находили величину коэффициента анизотропии $R_{max} = 0,96$. Следовательно, в направлении 45° относительно направления к прокатке коэффициент анизотропии $R_{45} = 0,96$. Далее определялся коэффициент анизотропии R_{90} . По зависимости (5) рассчитывался радиус

$R_x = 48,46$ мм. По известной величине $f_\phi = -0,51$ и радиусу R_x с помощью уравнения (2) находили неизвестный член уравнения $f_b = -0,754$ и по зависимости (7) определяли коэффициент анизотропии $R_{90} = 0,326$.

Таким образом, сочетание технологических испытаний на вытяжку плоской круглой заготовки и растяжение образца вырезанного вдоль направления прокатки, позволяют при наличии фестонообразования после вытяжки определять максимальную и минимальную величину коэффициента анизотропии листовых материалов как в листах, так и в полосах и лентах любой ширины. Предлагаемый метод менее трудоемок, по сравнению с известным, так как в случае технологических испытаний на вытяжку и получением «Стакана» без фестонов становится ясно, что материал не обладает плоскостной анизотропией механических свойств и не требуется вырезка образцов под 45° и 90° относительно направления к прокатке. Трудоемкость технологических испытаний на вытяжку существенно меньше, чем испытания на растяжение плоских образцов, вырезанных под различными углами к направлению прокатки.

Список литературы

1. Яковлев С.П., Яковлев С.С., Андрейченко В.А. Обработка давлением анизотропных материалов. Кишинев: Квант, 1997. 332 с.
2. Ковка и штамповка: справочник: в 4 т. Т. 4. Листовая штамповка / под общ. ред. С.С. Яковлева; ред. совет: Е.И. Семёнов (пред.) и др. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 2010. 732 с.

Яковлев Сергей Сергеевич, студент, mpf-tula@rambler.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет

INVESTIGATION OF THE ANISOTROPY OF MECHANICAL PROPERTIES OF SHEET MATERIALS USED IN THE BAND OR BAND

S.S. Yakovlev

A new method for determining the anisotropy coefficients of the mechanical properties of sheet materials is proposed, which makes it possible to use it to determine the presence of planar anisotropy in a wide range of sizes: from narrow bands or bands to sheets. The

proposed technique is less laborious and consists of carrying out technological tests for drawing a detail of the "Glass" type and stretching a sample cut along the rolling direction. The proposed technique can be used to study planar anisotropy at normal and elevated temperatures.

Key words: anisotropy of mechanical properties, anisotropy coefficient, planar anisotropy, narrow bands and bands, feston formation, height of festons, direction to rolling, stretching.

Yakovlev Sergey Sergeevich, student, mpf-tula@rambler.ru, Russia, Tula, Tula State University

УДК 664; 62-69

АНАЛИЗ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ НАГРЕВАНИЯ И ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ЧЕРЕЗ ПЛОСКУЮ СТЕНКУ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ С ИЗОЛЯЦИЕЙ

Н.А. Клименова, Е.В. Пантюхина, О.В. Пантюхин

Рассматриваются тепловые процессы нагревания в теплообменных аппаратах с различными теплоносителями, проводится сравнение двухслойных теплообменных аппаратов, стенки которых выполнены из различных материалов, по удельным потерям теплоты с 1 м² поверхности.

Ключевые слова: тепловые процессы, теплообменные аппараты, теплообменник, теплопередача, удельные потери теплоты.

Тепловые процессы широко применяются в промышленности, пищевых технологиях, биотехнологиях и других, что обуславливает необходимость и значимость их изучения. Все тепловые процессы связаны с переходом тепла, которое переходит от одного вещества к другому или из одного геометрического пространства в другое.

Самое широкое распространение среди всех видов тепловых процессов получило нагревание жидкостью и насыщенным паром.

Нагревание жидкостью – наиболее распространенный способ процесса нагревания. Он заключается в циркуляции теплоносителя между нагревателем и теплообменником, в который он отдает теплоту. Циркуляция может быть естественной и принудительной. Естественная циркуляция совершается за счет разности плотностей холодного и горячего теплоносителя. Однако эффективней является принудительный способ, который осуществляется с помощью специального насоса [1].

Чаще всего в качестве теплоносителя используют воду. Это обусловлено тем, что вода является доступным и дешевым теплоносителем, обладает высокой теплоемкостью и коэффициентом теплоотдачи. Одним из наиболее простых аппаратов, в которых используется нагревание водой, является ванна длительной пастеризации (рис. 1). Она используется для пастеризации продукта во избежание его быстрой порчи. Температура

нагрева невысока, поэтому погибают неблагоприятные микроорганизмы, но их споры остаются. Принцип работы ванны длительной пастеризации заключается в поступлении пара в воду через коллектор (барботер). Вода заполняет пространство между стенок пастеризатора и, при поступлении пара, она может нагреваться до 96 °С. Конденсат пара смешивается с водой, избыток жидкости сливают. Горячая вода нагревает продукт через стенку внутреннего резервуара цилиндрической формы. Когда процесс завершен, происходит подача холодной воды, которая вытесняет горячую из межстенного пространства и одновременно охлаждает молоко [2].

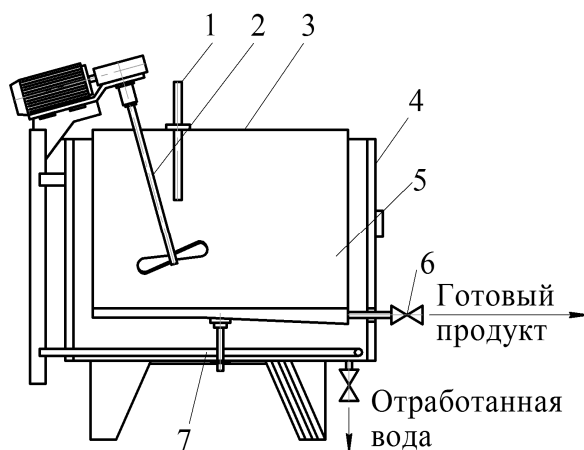


Рис. 1. Схема ванны длительной пастеризации: 1 – термометр; 2 – мешалка; 3 – крышка; 4 – наружный корпус; 5 – резервуар; 6 – кран слива продукта; 7 – паровой коллектор

Нагревание насыщенным паром распространено благодаря высокому коэффициенту теплоотдачи от конденсирующего пара стенке, равномерности обогрева и выделению большого количества теплоты.

Существует два вида нагревания. При нагревании «острым» паром происходит непосредственный контакт горячего пара с нагреваемым веществом. При этом пар конденсируется и отдает свою теплоту, а конденсат смешивается с веществом. При нагревании «глухим» паром, теплота передается нагреваемому веществу через стенку. В это время пар конденсируется и выводится из теплоносителя. Этот способ используется, если нагреваемая жидкость может взаимодействовать с водой или не должна быть разбавлена. Нагревание паром осуществляется в различных теплообменниках (трубчатых, спиральных, теплообменников с вращающимися лопастями), общим в конструкции которых является передача тепла через нагревательную поверхность, отделяющую продукт от теплоносителя [3].

Процесс нагревания водяным паром может осуществляться в конденсатоотводчике (рис. 2). Пар вводится через барботер, представляющий собой во многих случаях трубу с отверстиями, согнутую по спирали Архимеда либо по окружности, конденсируется, отдает теплоту нагреваемой жидкости и выходит наружу через продувочный вентиль.

Во всех конструкциях теплообменных аппаратов, в независимости от способа нагрева, происходит передача тепла через стенку от более нагретого теплоносителя к менее нагретому продукту. Движущая сила всех теплообменных процессов – разность температур теплоносителей. Под действием этой разности, теплота передается от горячего теплоносителя к холодному. Теплоноситель отдает свое тепло сначала стенке, которая проводит его через себя, затем продукту. Часть теплоты расходуется на компенсацию потери теплоты аппаратом в окружающую среду.

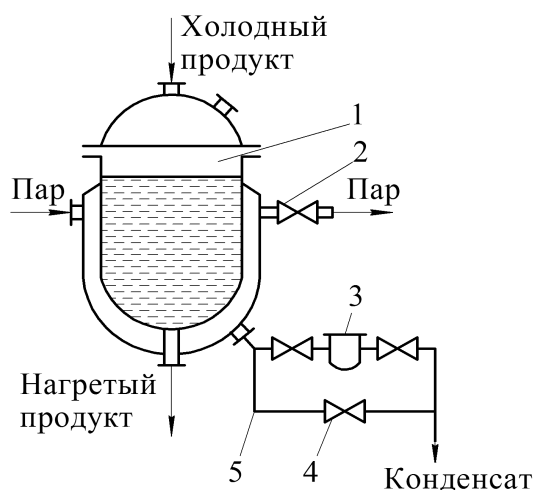


Рис. 2. Схема установки конденсатоотводчика при нагревании «глухим паром»: 1 – теплообменник; 2 – продувочный вентиль; 3 – конденсатоотводчик; 4 – вентили; 5 – отводная линия

Существует три формы теплообмена: теплопроводность, теплоотдача и теплопередача (рис. 3).

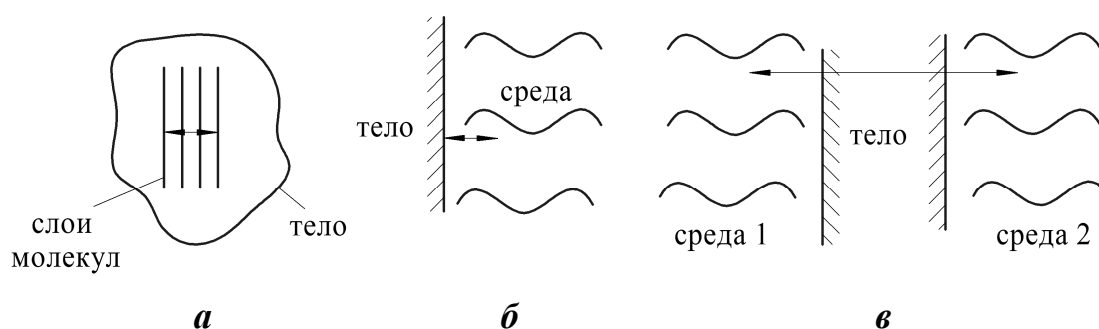


Рис. 3. Формы теплообмена: а – теплопроводность; б – теплоотдача; в – теплопередача

Теплопроводностью (см. рис. 3, а) называется процесс переноса тепловой энергии в результате теплового движения и взаимодействия микрочастиц от более нагретых участков тела к менее нагретым. В результате теплопроводности температура тела выравнивается. Большое значение

имеет материал, из которого изготовлены стенки теплообменных аппаратов, и способность данного материала проводить тепло, т.е. его теплопроводность. Для количественной оценки теплопроводности существует коэффициент λ теплопроводности материалов. Чем больше значение данного коэффициента у материала, тем лучше он проводит тепло.

Теплоотдачей (см. рис. 3, б) называется процесс теплообмена на границе раздела двух фаз. Физическая величина, которая характеризует интенсивность теплоотдачи при известном изменении температуры, называется коэффициентом α теплоотдачи. Он зависит от скорости потока теплоносителя, вида течения, геометрии поверхности и определяется, как правило, экспериментально. Для определения общего коэффициента теплоотдачи при расчёте тепловых потерь аппаратов, находящихся в закрытых помещениях, пользуются приближенным уравнением

$$\alpha = 9,74 + 0,07\Delta t,$$

где Δt – разность температур поверхности стенки аппарата и среды [1].

Теплопередачей (см. рис. 3, в) называют теплообмен между двумя теплоносителями через разделяющую их твердую стенку, т.е. включает в себя теплоотдачу от теплоносителя к стенке, и теплоотдачу от стенки к нагреваемому продукту [1].

При расчете теплообменных аппаратов с однослойной плоской стенкой используется кинетическое уравнение, выражающее связь между тепловым потоком Q и площадью поверхности теплопередачи. Это уравнение называется основным уравнением теплопередачи

$$Q = KF\Delta t_{cp}\tau,$$

где K – коэффициент теплопередачи, определяющий скорость переноса теплоты и показывающий, какое количество теплоты передается от горячего теплоносителя к холодному за 1 с через 1 м^2 стенки при средней разности температур между теплоносителями, равной одному градусу; F – площадь поверхности теплообмена; Δt_{cp} – средняя разность температур между теплоносителями; τ – время (при непрерывном процессе время не учитывается).

Однослойная плоская стенка теплообменника имеет одинаковую толщину, температуры поверхностей $t_{ст1}$ и $t_{ст2}$ поддерживаются постоянными, причем $t_{ст1} > t_{ст2}$ (рис. 4, а). При установившемся процессе количества теплоты, подведенного к стенке и отведенного от нее, равны между собой и не изменяются во времени [4]. Коэффициент теплопередачи

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}},$$

где α_1 – коэффициент теплоотдачи от теплоносителя к стенке; α_2 – коэффициент теплоотдачи от стенки к продукту; δ – толщина стенки.

Однако теплообменные аппараты часто состоят из нескольких слоев (рис. 4, б), которые могут отличаться друг от друга теплопроводностью и толщиной. В таком случае коэффициент теплопередачи

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{1}{\alpha_2}},$$

где $\delta_1, \delta_2, \dots$ – толщина стенки соответственно первого, второго и других слоев; $\lambda_1, \lambda_2, \dots$ – коэффициенты теплопроводности соответственно первого, второго и других слоев.

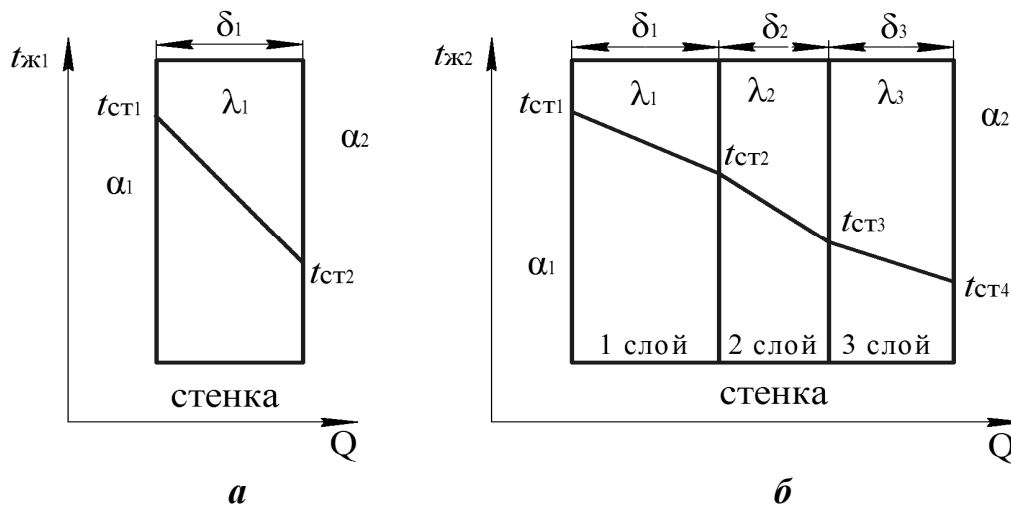


Рис. 4. Теплопередача через однослойную (а) и многослойную (б) плоскую стенку

При проектировании теплообменных аппаратов необходимо стремиться к тому, чтобы их стенка эффективно передавала тепло к продукту от теплоносителя с меньшими затратами энергии. Как правило, стенки теплообменных аппаратов чаще всего изготавливают из углеродистых и низколегированных сталей, меди, латуни, нержавеющей стали, мельхиора, алюминия и титана. Трубки изготавливают из различных видов стали, меди или латуни ГОСТ 3612-024-00220302-02, ГОСТ 21646-2003. Серебро, золото и алмазы являются отличными проводниками тепла и могли бы также подойти для изготовления трубок аппаратов, однако их использование экономически нецелесообразно [5].

Помимо теплоты, передаваемой от теплоносителя к нагреваемому продукту, необходимо учитывать и минимизировать потери теплоты в окружающую среду. Удельные потери теплоты с 1 м^2 поверхности теплообменника определяют по выражению

$$q = K(t_{в} - t_{н}),$$

где $t_{в}$ – температура внутри теплообменного аппарата; $t_{н}$ – температура окружающего воздуха (среды).

Чтобы эти потери были незначительные, используют теплоизоляцию. Это могут быть стеклоткани с полиуретановым покрытием, которые могут выдержать температуру до 150 °С, каменная вата с хаотично расположенными волокнами воздушной структуры, фольгопласт и всевозможные полиэтилены [6]. Одним из современных направлений для эффективной и перспективной термоизоляции является использование вакуума [7]. Данный вид изоляции представляет собой панели, обтянутые фольгой и имеющие внутри вакуумное пространство. В пространстве между панелями создается высокий вакуум и перенос тепла в таких изделиях практически невозможен.

Оценим влияние материала стенки двухслойного теплообменника, один из слоев которого – изоляционный, на удельные потери теплоты с 1 м² его поверхности. В качестве материалов стенки были взяты сталь ($\lambda = 47 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$), латунь ($\lambda = 105 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$) и медь ($\lambda = 401 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$); толщина стенки аппарата $\delta = 10$ мм. В качестве изоляционного слоя изучался фольгопласт ($\lambda = 0,038 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$), полиэтилен ($\lambda = 0,15 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$) и вакуум ($\lambda = 0,002 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$). Температура окружающего воздуха (среды) $t_{\text{н}} = 20^\circ \text{C}$.

На рис. 5 представлены графики зависимости удельных потерь теплоты с 1 м² поверхности теплообменника, стенка которого изготовлена из стали, от толщины различных видов теплоизоляционного слоя при температурах внутри теплообменного аппарата $t_{\text{в}} = 80^\circ \text{C}$ (см. рис. 5, а) и $t_{\text{в}} = 160^\circ \text{C}$ (см. рис. 5, б).

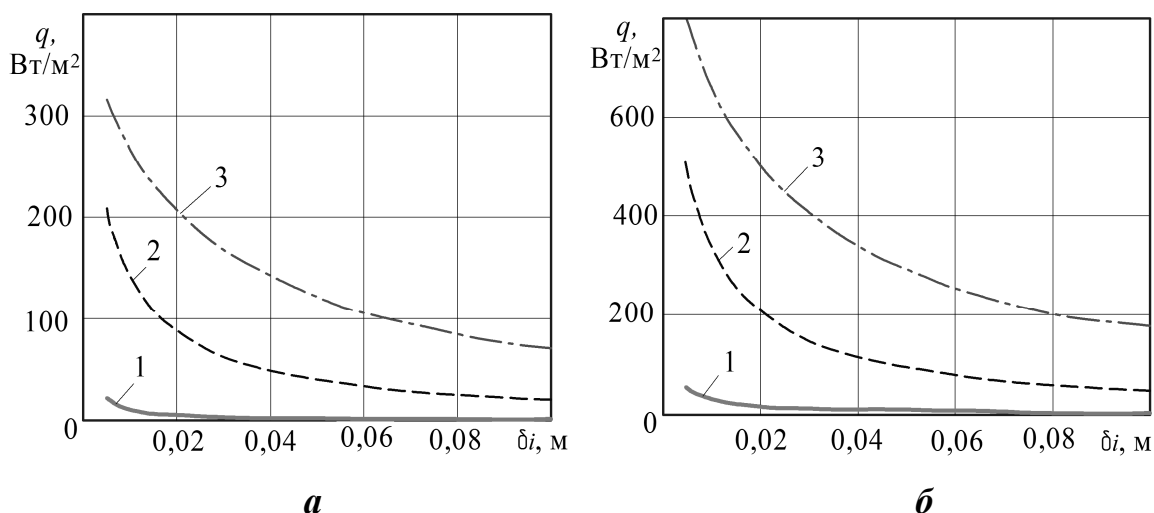


Рис. 5. Графики зависимости удельных потерь теплоты с 1 м² поверхности теплообменника от толщины различных видов теплоизоляционного слоя: 1 – полиэтилен; 2 – фольгопласт; 3 – вакуум при температуре внутри аппарата 80 °С (а) и 160 °С (б)

Аналогичные графики были построены для теплообменных аппаратов, стенка которых изготовлена из латуни и меди. Было выявлено, что для этих материалов значения удельных потерь теплоты с 1 м^2 поверхности теплообменника не отличаются от графиков, приведенных на рис. 5.

Как показывают графики, удельные потери теплоты с 1 м^2 поверхности теплообменника принимают гораздо меньшие значения для вакуума, по сравнению с полиэтиленом и фольгопластом, и на исследуемом диапазоне толщины слоя изоляции при $t_{\text{в}} = 80^\circ \text{C}$ составляют $q = 5 \dots 25 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$ и

при $t_{\text{в}} = 160^\circ \text{C}$ – $q = 10 \dots 60 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$. Удельные потери теплоты при использовании фольгопласта в качестве изоляции, особенно при его толщине δ менее $0,06 \text{ м}$, значительно выше, чем при использовании вакуума. Ещё более худшими свойствами обладает полиэтилен.

Таким образом, анализируя процессы нагрева в теплообменных аппаратах, приходим к выводу, что для минимизации потерь тепла в окружающую среду в качестве изоляции в конструкции теплообменных аппаратов целесообразно использовать вакуум. При этом эффективность данной теплоизоляции практически не зависит от толщины ее слоя.

Список литературы

1. Кавецкий Г.Д., Касьяненко В.П. Процессы и аппараты пищевой технологии: учеб. пособие. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Колос, 2008. 591 с.
2. Хамидуллина А.Ш., Свяженина М.А., Криницина Т.П. Технология производства и переработки животноводческой продукции: учеб. пособие. Тюмень: ТГСХА, 2010. 68 с.
3. Давыдова Е.В., Ганков Е.А. Анализ и проблемы процесса нагрева мезги в теплообменных аппаратах // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2016. Вып. 7. Ч. 2. С. 203-210.
4. Остриков А.Н. Процессы и аппараты пищевых производств: учеб. пособие. М.: ГИОРД, 2006. 632 с.
5. Шишкин Б.В. Прочность и вибрация кожухотрубчатых теплообменных аппаратов: учеб. пособие, 2013. 142 с.
6. Теплоизоляционные материалы и конструкции: учеб. пособие / Ю.Л.Бобров, Е.Г.Овчаренко, Б.М.Шойхет, Е.Ю.Петухова. М.: ИНФРА-М, 2003. 268 с.
7. Данилевский Л.Н. Вакуумная теплоизоляция и перспективы использования в строительстве // Архитектура и строительство. Вып. 5. Минск: НИПТИС, 2006. С. 114-117.

Клименова Наталья Андреевна, бакалавр, nataly_ty97@mail.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет,

Пантюхина Елена Викторовна, канд. техн. наук, доц., elen-davidova@mail.ru,
Россия, Тула, Тульский государственный университет,

Пантюхин Олег Викторович, директор издательства, канд. техн. наук, доц.,
olegpantyukhin@mail.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет

**ANALYSIS OF HEAT PROCESSES OF HEATING AND THERMAL TRANSMISSION
THROUGH FLAT WALL HEAT EXCHANGING EQUIPMENT WITH INSULATION**

N.A. Klimenova, E.V. Pantyukhina, O.V. Pantyukhin

Thermal processes of heating in heat exchangers with different heat carriers are considered, comparison of two-layer heat exchangers, whose walls are made of different materials, is carried out according to specific losses of heat from 1 m² of surface.

Key words: thermal processes, heat exchangers, heat exchanger, heat transfer, specific losses of heat.

Klimenova Natalia Andreevna, bachelors, nataly_ty97@mail.ru, Russia, Tula, Tula State University,

Pantyukhina Elena Viktorovna, candidate of technical sciences, docent, elen-davidova@mail.ru, Russia, Tula, Tula State University,

Pantyukhin Oleg Viktorovich, publishing director, candidate of technical sciences, docent, olegpantyukhin@mail.ru, Russia, Tula, Tula State University

УДК 621.922; 621.921.34

**СОЗДАНИЕ УНИФИЦИРОВАННОГО ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО
РЯДА РОТОРНЫХ СМЕСИТЕЛЕЙ**

М.С. Парамонова

Предлагается рассмотреть и проанализировать принципиальную возможность унифицировать ряд разрабатываемого смесительного оборудования на примере смесительных машин роторного типа.

Ключевые слова: смешение, оборудование смешения, роторные смесители, параметрические ряды.

Обобщение частных технологических условий создало основные предпосылки для построения параметрических рядов машин на основе рядов предпочтительных чисел, связанных между собой определёнными зависимостями (ГОСТ 8032-89 «Предпочтительные числа и ряды предпочтительных чисел»).

Сущность системы предпочтительных чисел состоит в том, что из многочисленных и разнообразных значений того или иного параметра выбираются только те, которые по своим основным признакам могут заменить любое из его часто многочисленных промежуточных значений, причём такая замена не должна отразиться на качестве детали, узла или машины.

Построение размерных рядов сводится, таким образом, к сужению количества размеров, образующих ряд числовых значений, путём округления расчётных значений до ближайшей предпочтительной с технико-экономической точки зрения величины[6].

При выборе размерного ряда машин приходится решать две основные задачи:

- 1) на основе какой прогрессии арифметической, геометрической или смешанной должен быть построен ряд;
- 2) какое число типоразмеров в заданном диапазоне крайних размеров должно быть принято.

Закономерность геометрического ряда выражается отношением:

$$\frac{A_{n+1}}{A_n} = \phi = const,$$

где A_n - данный член ряда; A_{n+1} - последующий член ряда.

Математические закономерности ступенчато-арифметической прогрессии могут быть представлены рядом выражений:

$$A_{n+1} - A_n = d.$$

При проектировании роторных машин и линий на протяжении многих лет используют геометрические ряды предпочтительных чисел [1-3,7]. Это обусловлено тем, что первые члены геометрической прогрессии имеют между собой малые интервалы, а так как номенклатура производимых на автоматических роторных линиях изделий также имеет небольшие размерные интервалы между собой, то такие ряды предпочтительных чисел наиболее характерно подчёркивают параметрические ряды роторных машин и линий [2,3]. При геометрической прогрессии в зоне больших размеров получаются значительные интервалы между размерами соседних членов (рис.1).

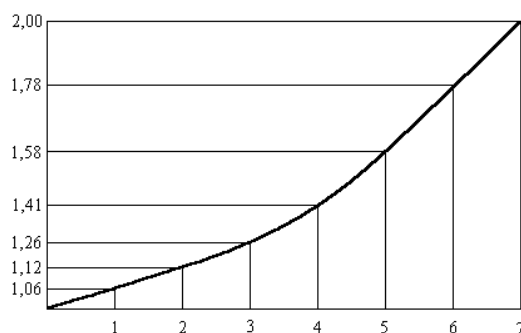


Рис. 1. Размерный ряд на основе геометрической прогрессии

Особенность размерных рядов на основе геометрической прогрессии, заключается также в том, что типоразмеры машин того или иного ряда обеспечивают возможность унификации деталей и узлов машин начальных размеров несравненно в большей степени, чем в размерных рядах, построенных на основе арифметической прогрессии [2,6]. Этот факт также послужил основанием для выбора такого ряда при проектировании автоматических роторных линий, тем более, что в АРЛ уровень унифицированных деталей и узлов достигает 80-85 %. ГОСТ 8032-89 предусматривает пять рядов предпочтительных чисел со знаменателями:

$$\sqrt[5]{10}, \sqrt[10]{10}, \sqrt[20]{10}, \sqrt[40]{10}, \sqrt[80]{10}.$$

Эти ряды предпочтительных чисел обозначаются:

$$\text{пятый} - \phi = \sqrt[5]{10} = 1,5849$$

$$\text{десятый} - \phi = \sqrt[10]{10} = 1,258$$

$$\text{двадцатый} - \phi = \sqrt[20]{10} = 1,1220$$

$$\text{сороковой} - \phi = \sqrt[40]{10} = 1,0593$$

$$\text{восемидесятый} - \phi = \sqrt[80]{10} = 1,02938$$

Проведённый сравнительный технико-экономический анализ [3,7] с учётом всех основных факторов позволил однозначно определить для роторного оборудования сороковой геометрический ряд:

$$\phi = 1,0595 \approx 1,6.$$

Таким образом, ряд предпочтительных чисел будет выглядеть: 1; 1,0593; 1,122; 1,188; 1,259; 1,334; 1,413; 1,496; 1,585; 1,679; 1,778; 1,884; 1,995; 2,114; 2,24.

По результатам многолетних технико-экономических исследований *преимущественными* из него выбраны следующие числа с округлением:

$$1,06; 1,12; 1,26; 1,41; 1,58; 1,78; 2.$$

Теперь параметрический ряд роторных машин нового типа должен быть описан рядом чисел геометрической прогрессии со знаменателем являющимся числом из данного ряда. Кроме всего прочего, использование геометрической прогрессии обеспечивает:

- возможность создания различных модификаций конструктивно-унифицированного ряда при сохранении строгих закономерностей в каждом вновь созданном ряде;

- при геометрическом ряде линейных размеров деталей, объёмные, весовые и прочностные характеристики членов такого ряда, в свою очередь, также образуют строго закономерные геометрические ряды.

Практическое обоснование создания параметрического ряда роторных смесительных машин

Большинство подобных обоснований базируется на многолетнем технико-экономическом изучении определённого уже существующего типа оборудования [3,5,6,7]. В качестве основного определяющего параметра типоразмерного ряда обычно берётся некий линейный размер, характерный для любой типоконструкции ряда и определяющий его функ-

циональное назначение. Для металлорежущих станков это, например, максимальный размер обрабатываемой детали. В некоторых случаях таким параметром может стать уровень функциональной значимости данного типоразмера, например, максимальное усилие для некоторых типоразмеров прессов.

Если в качестве определяющего параметра типоразмерного ряда представлен линейный размер детали, узла и т.п., то его изменение согласно чисел геометрического ряда и определяет размерные характеристики всего ряда оборудования.

Если же в качестве параметра типоразмерного ряда представлена функциональная возможность конкретной машины, которая может изменяться в пределах до 10-100 и выше от одного члена ряда до следующего, то требуется её обоснованная технико-экономическими исследованиями математическая корректировка до одного из членов стандартного типоразмерного ряда[6].

В случае создания типажа роторных смесительных машин возникает необходимость футуризации данного процесса ввиду того, что машин такого рода ещё серийно не было произведено и соответствующие научно-технические исследования на реальных производствах не проводились. Однако имеющийся научно-исследовательский задел позволяет с высокой степенью достоверности спрогнозировать необходимый типоразмерный ряд будущего класса машин в соответствии с существующими унифицированными параметрическими рядами и методиками их расчёта [2,3,6,7].

Выбор определяющих параметров

Ввиду сложности процесса образования создания конструкторско-унифицированного ряда прогнозируемого класса машин становится целесообразным:

- считать класс роторных смесителей частью большого семейства роторных машин и линий с едиными предпочтительными числами типоразмерных рядов:

1;1,06; 1,12; 1,26; 1,41; 1,58; 1,78; 2.

- выбрать в качестве основного определяющего параметра геометрический ряд некой характеристики обозначающей и усредняющей два параметра роторной смесительной машины: линейный размер детали, узла и т.п. и одной из его функциональной возможности.

Это справедливо в силу того, что класс машин ещё не создан и его типоразмерный ряд, который, в свою очередь, позволит с большей эффективностью обеспечить такое создание, будет определён ещё одним параметром, конкретизирующим функциональное назначение машины, с учётом двух критериев имеющих разный физический смысл и более точно обосновывающих концептуальный переход от одного члена ряда к другому.

В результате исследований, проведённых на стендах дозирования и смешения, выяснилось, что выходящие параметры для проектирования роторных модулей не могут полностью соответствовать единому критерию параметризации ряда, как, очевидно, и входящие в отдельности.

Из выходящих параметров наиболее близким к типичному, определяющему параметру оказывается линейный размер рабочей части ротора питателя l , вобравший в себя конструктивное влияние входящей фракции выдаваемого компонента d_i на всю систему. Из входных достаточно универсальной выдвигается производительность модуля P при пропорциональном выходном качестве продукта V_c .

Поэтому было предложено в качестве интегрального критерия, описывающего каждый член параметрического ряда роторных смесительных машин использовать геометрический ряд чисел по зависимости

$$A_i = \sqrt{P_i l_i},$$

где A_i - член параметрического ряда; P_i - необходимая (возможная) производительность i -го члена параметрического ряда машин; l_i - длина рабочей части ротора питателя i -го члена ряда.

Величина A_i практически полностью охватывает как входные, так и выходные параметры проектируемой машины, а также удовлетворяет условиям создания параметрического ряда роторных смесительных модулей.

Производительность в данной зависимости является из составляющих критериев общего определяющего параметра ряда, описывающим необходимость системы в пространстве для бункеров, накопителей и т.п., при определённом минимальном времени работы питателя до следующей его загрузки. От производительности зависят размеры приводных устройств - двигателей и дополнительных передающих механическое движение устройств.

Размер рабочей части ротора питателя также в некоторой степени корректирует необходимые размеры и объём бункеров особенно малосодержащихся компонентов, а также полностью определяет габаритные размеры тары, а именно диаметр тары и её высоту для устойчивого процесса детерминированного формирования однородности смеси при заданной фракции компонента [1-5].

Через диаметр тары D_T (рабочую позицию) можно определить габаритные размеры ротора: диаметр начальной окружности D_0 и шаг ротора h_p (рис.2).

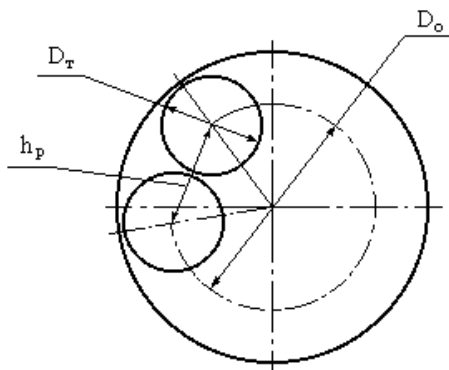


Рис. 2. Основные размеры ротора

Расчёт параметрического ряда

По значениям P_i и l_i определим расчётные значения семи типоразмеров роторных смесителей. Число типоразмеров в ряду обусловлено семью классами сыпучих компонентов по классификации Карра, на которые условно разбиты возможные сыпучие компоненты в зависимости от среднего размера зерна:

$$A_1 = \sqrt{0,05 \times 20} = 1,$$

$$A_2 = \sqrt{0,1 \times 30} = 1,73$$

$$A_3 = \sqrt{0,25 \times 45} = 3,35$$

$$A_4 = \sqrt{0,5 \times 60} = 5,48$$

$$A_5 = \sqrt{1,25 \times 80} = 10$$

$$A_6 = \sqrt{2,5 \times 120} = 17,32$$

$$A_7 = \sqrt{7 \times 150} = 32,4.$$

Как видно из расчёта, знаменатель геометрической прогрессии колеблется в пределах

$$\phi'_{12} = 1,73; \phi'_{23} = 1,94; \phi'_{34} = 1,64; \phi'_{45} = 1,82; \phi'_{56} = 1,73; \phi'_{67} = 1,87.$$

Таким образом,

$$\phi_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n \phi_i}{n} = \frac{1,73 + 1,94 + 1,64 + 1,82 + 1,73 + 1,87}{6} = 1,7893.$$

Наиболее близким значением ϕ из предпочтительных чисел для роторных машин и линий является число $\phi = 1,78$. Теперь ряд примет вид, показанный в таблице.

Расчетные и предпочтительные ряды

Расчётный	Предпочтительный
1	1
1,73	1,78
3,35	3,17
5,48	5,64
10	10,04
17,32	17,87
32,4	31,8

Очевидно, рассчитанный ряд необходимо скорректировать до параметрического ряда типоразмеров роторных смесительных машин из чисел предпочтительного геометрического ряда с $\phi = 1,78$ [6]:

$$1; 1,78; 3,17; 5,64; 10,04; 17,87; 31,8.$$

Необходимую оптимизацию данного ряда с уменьшением общего числа типоразмеров до числа предпочтительно используемых целесообразней можно будет провести после того как несколько лабораторных или промышленных образцов пройдут соответствующие испытания.

Список литературы

1. Макаров Ю.И. Аппараты для смешения сыпучих материалов. М.: Машиностроение, 1973. 216 с.
2. Кошкин Л.Н. К вопросу о классификации технологических процессов и рабочих машин // Литейное производство. № 4. 1953.
3. Лукаш А.Н. Эволюция смесительной техники //Сб. докладов Международн. Семинара АПИР-6. Тула: Изд-во ТулГУ, 2002. С.45-47.
4. Патент РФ 2271243. Способ смешения сыпучих компонентов и устройство для его реализации / А.Н. Лукаш, А.В. Евсеев, Т.А. Овчинникова, К.В. Власов, О.В.Карпухина. Опубл. 10.03.06. Бюл.№7.
5. Патент РФ 2129911. Способ смешения сыпучих компонентов и устройство для его реализации / А.Н. Лукаш, И.А. Клусов, А.В. Евсеев. Опубл. 10.05.99. Бюл. №13.
6. Методические рекомендации МР 4-81. Методы построения параметрических и типоразмерных рядов деталей и сборочных единиц общемашиностроительного применения / ВНИИНМАШ. М., 1981. 41 с.
7. Евсеев А.В., Парамонова М.С. Нонмиксинговые технологии и оборудование для получения многокомпонентных смесей // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2015. Вып. 8. Ч. 2. С. 188-194.

Парамонова Маргарита Сергеевна, асп., rita.paramonova.92@mail.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет

CREATION OF THE UNIFIED PARAMETRICAL NUMBER OF ROTOR MIXERS

M.S. Paramonova

The author suggests to consider and analyse a basic opportunity to unify a number of the developed mixing equipment on the example of mixing cars of rotor type.

Key words: mixture, mixture equipment, rotor mixers, parametrical ranks.

Paramonova Margarita Sergeevna, postgraduate, rita.paramonova.92@mail.ru, Russia, Tula, Tula State University

ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕССОВ ОКИСЛЕНИЯ И ТЕМПЕРАТУРНОЙ ДЕСТРУКЦИИ НА ВЯЗКОСТНО-ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОТОРНЫХ МАСЕЛ

Е.А. Ермилов, Б.И. Ковальский, Ю.Н. Безбородов, В.З. Олейник

Представлены результаты исследования влияния процессов окисления и температурной деструкции на оптические и противоизносные свойства моторных масел различной базовой основы. Установлено, что процессы температурной деструкции протекают менее интенсивно в начале процесса термостатирования, чем процессы окисления. Причем доминирующее влияние продуктов окисления или температурной деструкции на вязкостно-температурные характеристики зависит от температуры и базовой основы моторных масел. Предложен коэффициент доминирующего влияния, определяемый отношением средней скорости процессов температурной деструкции к средней скорости процессов окисления.

Ключевые слова: моторное масло, оптическая плотность, критерии температурной стойкости и термоокислительной стабильности, коэффициент доминирующего влияния.

При эксплуатации двигателя внутреннего сгорания на поверхностях трения одновременно протекают процессы окисления, температурной деструкции и химические реакции металлов с их продуктами и присадками. Однако доминирующее влияние одного из процессов на противоизносные свойства масел изучены недостаточно. Поэтому целью настоящих исследований является определение доминирующего влияния продуктов окисления или температурной деструкции на противоизносные свойства моторных масел различной базовой основы при температурах испытания 170 и 180 °С.

Методика исследования предусматривала применение следующих средств контроля и испытания: прибора для оценки термоокислительной стабильности, прибора для оценки температурной стойкости, фотометра, трехшариковой машины трения, оптического микроскопа «Альтами МЕТ 1М» и электронных весов. Технические характеристики приборов приведены в работах [1-3]. В качестве объектов исследования выбраны моторные масла различной базовой основы, а именно минеральное моторное масло ZicHIFLO 10W-40 SL, частично-синтетическое моторное масло CastrolMagnatec 10W-40 RSL/CF и синтетическое моторное масло ALPHA'S 5W-40 SN.

Методика определения термоокислительной стабильности предусматривала следующие действия. Проба масла массой (100±0,1) г заливалась в стеклянный стакан прибора для оценки термоокислительной ста-

бильности и термостатировалось последовательно при температурах 180 и 170 °С с перемешиванием стеклянной мешалкой с частотой вращения 300 об/мин. После каждых 8 часов испытания отбиралась часть пробы (2 г) для прямого фотометрирования и определения оптической плотности D при толщине фотометрируемого слоя 2 мм:

$$D = \lg \frac{300}{\Pi}, \quad (1)$$

где 300 – задаваемый ток фотометра при пустой кювете, мкА; Π – показатель фотометра при фотометрировании термостатированных масел, мкА.

Часть пробы окисленного масла (9 г) использовалась для измерения кинематической вязкости при 40 и 100 °С, с последующим перерасчетом на индекс вязкости (ГОСТ 25371-97) [4]. Испытания продолжались до достижения оптической плотности D значений 0,5-0,6.

Методика определения температурной стойкости предусматривала следующие действия. Проба масла массой (100±0,1) г заливалась в стеклянный стакан прибора для оценки температурной стойкости и термостатировалось при температурах 180 и 170 °С без перемешивания при атмосферном давлении с конденсацией паров и отводом конденсата. После каждых 8 часов испытания отбиралась часть пробы для прямого фотометрирования и определения оптической плотности D по формуле (1). Часть пробы масла, подверженного температурной деструкции (9 г), использовалась для измерения кинематической вязкости при 40 и 100 °С, с последующим перерасчетом на индекс вязкости. Испытания продолжались до достижения оптической плотности D значений равных 0,5-0,6.

Результаты исследования и их обсуждения

На рис. 1 представлены зависимости оптической плотности от времени и температуры испытания исследуемых моторных масел различной базовой основы. Согласно данным (рис. 1,а,б,в) процессы старения моторных масел можно разделить на три этапа независимо от базовой основы и температуры испытания. Установлено, что на первом этапе интенсивность процессов окисления и температурной деструкции практически одинакова. На втором этапе идет понижение интенсивности процессов температурной деструкции (кривые 1, 3) над процессами окисления (кривые 2, 4), что объясняется отсутствием перемешивания масла при термостатировании. На третьем этапе испытаний интенсивность процессов температурной деструкции превышает процессы окисления.

Зависимости оптической плотности от времени испытания (рис. 1) имеют изгиб, что свидетельствует об образовании двух видов продуктов старения различной энергоемкости. Регрессионные уравнения зависимостей первых участков $D = f(t)$ для моторных масел представлены в табл.1.

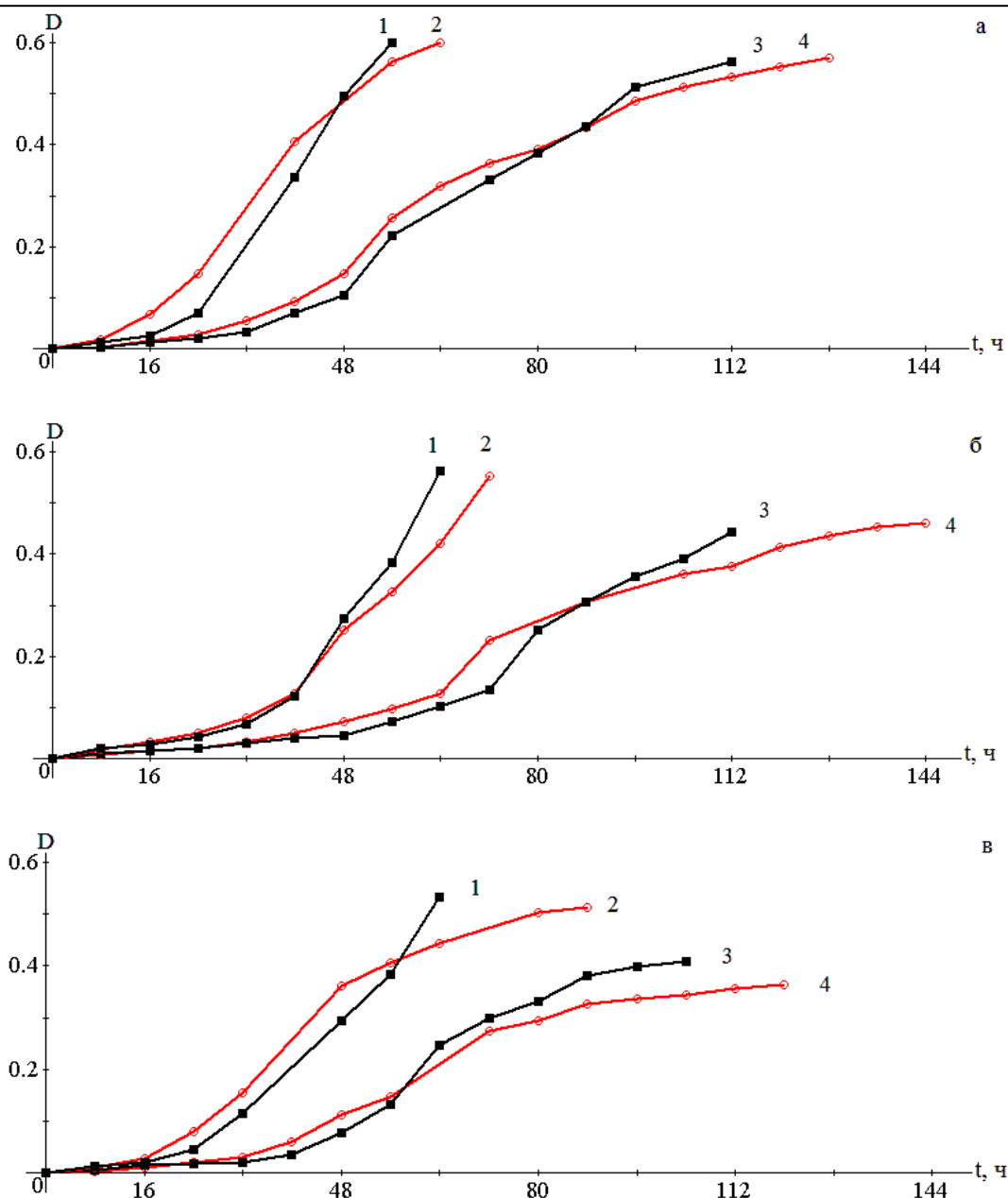


Рис. 1. Зависимости оптической плотности от времени и температуры испытания моторных масел: а – ZicHIFLO 10W-40 SL; б – CastrolMagnatec 10W-40 RSL/CF; в – ALPHA'S 5W-40 SN: 1 – при температурной деструкции 180 °С; 2 – при окислении 180 °С; 3 – при температурной деструкции 170 °С; 4 – при окислении 170 °С;

Для сравнения интенсивности процессов окисления и деструкции определим производные функций $D = f(t)$ (табл.1), характеризующие средние скорости процессов и описываемые линейными уравнениями

$$D = \alpha t \pm \beta, \tag{2}$$

где α – ускорение изменения оптической плотности D.

Данные зависимости сведены в табл 2.

Таблица 1

Регрессионные уравнения зависимостей оптической плотности от времени моторных масел (условные обозначения см. на рис. 1)

Моторное масло	Температура испытания, °C	Регрессионное уравнение	Коэффициент корреляции
Минеральное масло ZICHIFLO 10w-40 SL	180	$D_1 = 3,103 \cdot 10^{-4} \cdot t^2 - 0,004 \cdot t + 0,01$	0,992
	180	$D_2 = 2,497 \cdot 10^{-4} \cdot t^2 + 1,27 \cdot 10^{-4} \cdot t + 3,137 \cdot 10^{-4}$	0,999
	170	$D_3 = 1,068 \cdot 10^{-4} \cdot t^2 - 0,003 \cdot t + 0,012$	0,976
	170	$D_4 = 1,125 \cdot 10^{-4} \cdot t^2 - 0,002 \cdot t + 0,009$	0,991
Частично-синтетическое моторное масло CastrolMagnatec 10w-40 SL/CF	180	$D_1 = 1,7 \cdot 10^{-4} \cdot t^2 - 0,003 \cdot t + 0,02$	0,971
	180	$D_2 = 1,354 \cdot 10^{-4} \cdot t^2 - 0,002 \cdot t + 0,014$	0,981
	170	$D_3 = 5,294 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 - 0,002 \cdot t + 0,019$	0,964
	170	$D_4 = 5,569 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 - 0,001 \cdot t + 0,012$	0,977
Синтетическое моторное масло ALPHA'S5w-40 SN	180	$D_1 = 1,648 \cdot 10^{-4} \cdot t^2 - 0,002 \cdot t + 0,006$	0,998
	180	$D_2 = 1,745 \cdot 10^{-4} \cdot t^2 + 8,75 \cdot 10^{-4} \cdot t + 8,333 \cdot 10^{-4}$	0,999
	170	$D_3 = 9,823 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 - 0,003 \cdot t + 0,02$	0,987
	170	$D_4 = 6,678 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 - 0,001 \cdot t + 0,005$	0,973

Установлено, что в первый период испытания (16 ч) средняя скорость процессов окисления выше, чем у процессов температурной деструкции независимо от температуры испытания и базовой основы моторных масел. Во второй период испытания (48 ч) средняя скорость процессов окисления становится ниже, чем у процессов температурной деструкции при температурах испытания 180 °C у минеральных и частично-синтетических масел и при 170 °C у синтетических. Согласно данным табл. 2 с учетом времени испытания независимо от температуры испытания или базовой основы моторных масел средняя скорость процессов температурной деструкции растет интенсивней, чем у процессов окисления.

Важным эксплуатационным свойством масла является кинематическая вязкость, которая не является постоянной величиной, она изменяется с изменением температуры и концентрации продуктов старения и др. механических примесей. Индекс вязкости – безразмерный показатель вязкостно-температурной характеристики, рассчитываемый по значениям кинематической вязкости масла, измеренной при температурах 40 и 100 °C. В данной работе предложены критерии температурной стойкости и термоокислительной стабильности $K_{TC(ТОС)}$

$$K_{(TC)TOS} = IB_{D(OK)} \cdot D_{D(OK)}, \quad (3)$$

где $IB_{D(OK)}$ – индекс вязкости термостатированного или окисленного масла.

Таблица 2

Регрессионные уравнения скоростей изменения оптической плотности при окислении и температурной деструкции

Моторное масло	Температура испытания, °C	Скорость изменения оптической плотности	Значение скорости при времени испытания, ч ⁻¹		Увеличение скорости, разы
			16 ч	48 ч	
Минеральное масло ZICHIFLO 10w-40 SL	180	$V_{D_1} = 6,206 \cdot 10^{-4} \cdot t - 0,004$	0,0059	0,0258	4,35
		$V_{D_2} = 4,994 \cdot 10^{-4} \cdot t + 1,27 \cdot 10^{-4}$	0,0081	0,0241	2,97
	170	$V_{D_3} = 2,136 \cdot 10^{-4} \cdot t - 0,003$	0,0004	0,0073	17,37
		$V_{D_4} = 2,25 \cdot 10^{-4} \cdot t - 0,002$	0,0016	0,0088	5,50
Частично-синтетическое моторное масло CastrolMagneatec 10w-40 SL/CF	180	$V_{D_1} = 3,4 \cdot 10^{-4} \cdot t - 0,003$	0,0024	0,0133	5,46
		$V_{D_2} = 2,708 \cdot 10^{-4} \cdot t - 0,002$	0,0023	0,0110	4,71
	170	$V_{D_3} = 10,588 \cdot 10^{-5} \cdot t - 0,002$	0,0003	0,0031	10,27
		$V_{D_4} = 11,138 \cdot 10^{-5} \cdot t - 0,001$	0,0008	0,0043	5,56
Синтетическое моторное масло ALPHA'S5w-40 SN	180	$V_{D_1} = 3,296 \cdot 10^{-4} \cdot t - 0,002$	0,0033	0,0138	4,22
		$V_{D_2} = 3,49 \cdot 10^{-4} \cdot t + 8,75 \cdot 10^{-4}$	0,0065	0,0176	2,73
	170	$V_{D_3} = 19,646 \cdot 10^{-5} \cdot t - 0,003$	0,0001	0,0064	44,85
		$V_{D_4} = 13,356 \cdot 10^{-5} \cdot t - 0,001$	0,0011	0,0054	4,76

Примечание. V_{D_1} - скорость при деструкции 180 °C; V_{D_2} - скорость при окислении 180 °C; V_{D_3} - скорость при деструкции 170 °C; V_{D_4} - скорость при окислении 170 °C.

На рис. 2 представлены зависимости критерии температурной стойкости и термоокислительной стабильности от оптической плотности. Установлено, что данные зависимости описываются линейными уравнениями

$$K_{TC(TOC)} = \alpha D, \quad (4)$$

где α – скорость изменения критерия $K_{TC(TOC)}$.

Регрессионные уравнения зависимостей представлены в табл. 3.

Для определения доминирующего влияния процессов окисления или температурной деструкции на вязкостно-температурные характеристики предложен коэффициент доминирующего влияния $K_{ДВ}$, определяемый отношением скоростей изменения данных критериев:

$$K_{дв} = \frac{\alpha_{ТС}}{\alpha_{ТОС}}, \quad (5)$$

где $\alpha_{ТС}$ и $\alpha_{ТОС}$ - параметры, характеризующие средние скорости изменения критериев температурной стойкости и термоокислительной стабильности масел.

Таблица 3

Результаты регрессионного анализа вязкостно-температурных характеристик моторных масел

Моторное масло	Температура испытания, °С	Процесс термоста-тирования	Регрессионное уравнение	Коэффициент корреляции
Минеральное масло ZICHIFLO 10w-40 SL	170	Окисление	$K_{ТОС}=104,868 \cdot D$	0,998
		Температурная деструкция	$K_{ТС}=98,018 \cdot D$	0,989
	180	Окисление	$K_{ТОС}=104,567 \cdot D$	0,993
		Температурная деструкция	$K_{ТС}=100,286 \cdot D$	0,999
Частично-синтетическое моторное масло CastrolMagnatec 10w-40 SL/CF	170	Окисление	$K_{ТОС}=102,567 \cdot D$	0,967
		Температурная деструкция	$K_{ТС}=105,422 \cdot D$	0,999
	180	Окисление	$K_{ТОС}=94,839 \cdot D$	0,984
		Температурная деструкция	$K_{ТС}=113,012 \cdot D$	0,931
Синтетическое моторное масло ALPHA'S5w-40 SN	170	Окисление	$K_{ТОС}=112,399 \cdot D$	0,976
		Температурная деструкция	$K_{ТС}=125,559 \cdot D$	0,976
	180	Окисление	$K_{ТОС}=109,058 \cdot D$	0,989
		Температурная деструкция	$K_{ТС}=123,763 \cdot D$	0,993

Данные коэффициента доминирующего влияния представлены в табл 4.

Таблица 4

Результаты вычисления коэффициента доминирующего влияния

Моторное масло	Температура испытания, °С	Значение $K_{дв}$
Минеральное масло ZICHIFLO 10w-40 SL	170	0,935
	180	0,959
Частично-синтетическое моторное масло CastrolMagnatec 10w-40 SL/CF	170	1,029
	180	1,192
Синтетическое моторное масло ALPHA'S5w-40 SN	170	1,117
	180	1,135

Согласно данным табл. 4 с повышением температуры испытания коэффициент доминирующего влияния увеличивается для моторных масел различной базовой основы. Кроме того установлено, что продукты температурной деструкции повышают вязкостно-температурные характеристики

синтетических и частично-синтетических моторных масел, кроме минерального масла, поэтому эти особенности моторных масел следует учитывать при их выборе для двигателей.

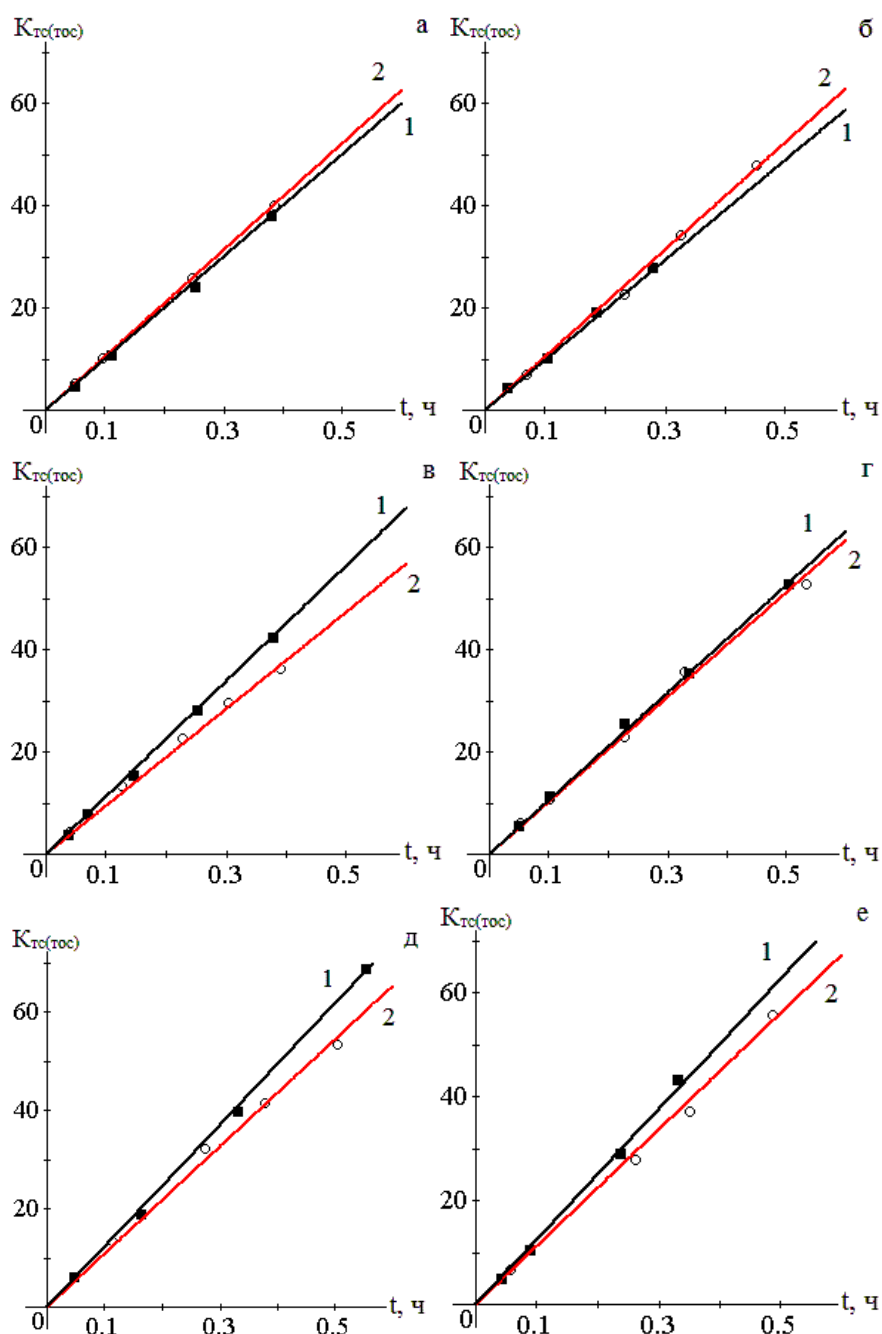


Рис. 2. Зависимости критерия температурной стойкости и термоокислительной стабильности от оптической плотности и температуры испытания моторных масел: а – ZicHIFLO 10W-40 SL при 180 °С; б – ZicHIFLO 10W-40 SL при 170 °С; в – CastrolMagnatec 10W-40 RSL/CF при 180 °С; г – CastrolMagnatec 10W-40 RSL/CF при 170 °С; д – ALPHA’S 5W-40 SN при 180 °С; е – ALPHA’S 5W-40 SN при 170 °С: 1 – при температурной деструкции; 2 – при окислении

Выводы

На основании проведенных исследований установлено:

1. Процессы температурной деструкции оказывают меньшее влияние на оптические свойства в начале термостатирования моторных масел независимо от базовой основы.

2. Предложен коэффициент доминирующего влияния, определяемый отношением средней скорости процессов деструкции к средней скорости процессов окисления, характеризующий доминирующие влияния продуктов старения процессов температурной деструкции или окисления на вязкостно-температурные характеристики моторных масел.

Список литературы

1. Ковальский Б.И. Методы и средства повышения эффективности использования смазочных материалов. Новосибирск: Наука, 2005. 341 с.

2. Методы контроля и диагностики эксплуатационных свойств смазочных материалов по параметрам термоокислительной стабильности и температурной стойкости: монография / Ю.Н. Безбородов, Б.И. Ковальский, Н.Н. Малышева, А.Н. Сокольников, Е.Г. Мальцева. Красноярск: СФУ, 2011. 366 с.

3. Методы контроля и диагностики эксплуатационных свойств смазочных масел: монография / Б.И. Ковальский, Ю.Н. Безбородов, О.Н. Петров, В.Г. Шрам. Красноярск: СФУ, 2015. 154 с.

4. ГОСТ 25371-97 Нефтепродукты. Расчет индекса вязкости по кинематической вязкости. Введ. 01.08.1999. Минск: Межгосударственный стандарт, 1999. 9 с.

Ермилов Евгений Александрович, асп., evermilov@mail.ru, Россия, Красноярск, Сибирский федеральный университет, Институт нефти и газа,

Ковальский Болеслав Иванович, д-р техн. наук, проф., Labsm@mail.ru, Россия, Красноярск, Сибирский федеральный университет, Институт нефти и газа,

Безбородов Юрий Николаевич, д-р техн. наук, зав. каф., Labsm@mail.ru, Россия, Красноярск, Сибирский федеральный университет, Институт нефти и газа,

Олейник Виктор Зиновьевич, аспирант, OleynikVictor@gmail.com, Россия, Красноярск, Сибирский федеральный университет, Институт нефти и газа

THE INFLUENCE OF PROCESSES OF OXIDATION AND THERMAL DESTRUCTION ON VISCOSITY-TEMPERATURE CHARACTERISTICS OF MOTOR OIL

E.A. Ermilov, B.I. Kovalsky, Y.N. Bezborodov, V.Z. Oleynik

The results of the study of influence of the processes of oxidation and thermal destruction on the optical properties and anti-wear properties of motor oil of different base are presented. It was found, that the processes of thermal destruction have flowed less than intensive in first time of process of thermostating, than process of oxidation. The dominate influence of processes of oxidation and thermal destruction on viscosity-temperature characteris-

tics depend on temperature and motor oil of base. Coefficient of dominate influence is proposed determining how ratio of average rate of processes of oxidation to average rate of processes of thermal destruction.

Key words: motor oil, optical density, criterions of thermooxidation stability and thermalwithstandability, increment velocity of processes of oxidation and thermaldestruction, coefficient of dominate influence.

Ermilov Evgeny Aleksandrovich, postgraduate, evermilov@mail.ru, Russia, Krasnoyarsk, Siberian Federal University, Institute of oil and gas,

Kovalsky Boleslav Ivanovich, doctor of technical sciences, Professor Labsm@mail.ru, Russia, Krasnoyarsk, Siberian Federal University, Institute of oil and gas,

Bezborodov Uriy Nikolaevich, doctor of technical sciences, head of department Labsm@mail.ru, Russia, Krasnoyarsk, Siberian Federal University, Institute of oil and gas,

Oleynik Victor Zinovyevich, postgraduate, OleynikVictor@gmail.com, Russia, Krasnoyarsk, Siberian Federal University, Institute of oil and gas

УДК 656.3

ПОВЫШЕНИЕ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ЗА СЧЕТ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ В ПОЛЯРНЫХ РЕГИОНАХ

Н.А. Махутов, М.Ю. Куприков, В.Л. Балановский, Н.М. Куприков

Рассмотрены проблемы, от решения которых зависит экономическое развитие в полярных регионах, процесс совершенствования формирования систем комплексной безопасности объектов промышленности и транспорта в полярных регионах.

Ключевые слова: устойчивое развитие, критически важный объект, комплексная безопасность, деструктивное воздействие, техногенная авария, акт незаконного вмешательства, транспортно-логистические системы, терминально-логистические центры.

В настоящее время наша страна переживает потрясения, связанные с коренными изменениями в политике, экономике, социальной и духовной сферах. Подвергается переоценке роль отдельных регионов, промышленных кластеров и предприятий в экономике страны. В XXI веке Российская Федерация активно развивает свое присутствие в полярных регионах. Поддержание приоритета Российской Федерации в Арктической зоне базируется на развитие научных исследований и образовательных инициативах академических институтов и университетов, государственных научных центров, высокотехнологичных компаний и корпораций.

Для развития Арктической зоны РФ является необходимым и важным установление «научного приоритета» в данном регионе путем разработки инструктивных писем, технических регламентов и нормативных документов. Таким образом, национальная практика технического регулирования инфраструктурной деятельности в данном регионе может послужить основанием для повышения качества жизни в полярных регионах.

Принятие Стратегии развития Арктической зоны РФ и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 г. послужило началом развития и совершенствования транспортной системы в этой части РФ. В настоящее время в РФ реализуется Транспортная стратегия на период до 2020 года, она определяет направления развития транспортного комплекса страны, устанавливает единую для транспортной отрасли систему приоритетов и является основой для разработки целевых программ в области транспорта и смежных отраслях экономики. Во многих регионах, имеющих труднодоступные территории, разрабатываются индивидуальные программы развития транспорта (Красноярский край, Ямало-Ненецкий национальный округ, Магаданская, Тюменская, Мурманская области и др.). Причиной этому послужил ряд предпосылок:

1. Отсутствие практически во всех регионах единой согласованной стратегии развития различных видов транспорта и терминально-складской инфраструктуры, что привело к ряду негативных последствий: исчерпанию пропускной способности транспортно-логистического комплекса, отсутствию современного логистического сервиса, увеличению сроков транспортировки и обработки грузов, повышению уровня загрязнения окружающей среды в полярных регионах.

2. Перекос в развитии транспортно-логистических систем в различных регионах РФ. Например, более 80 % импортных потоков грузов проходят через территорию Центрального и Северо-Западного федеральных округов, через территорию остальных округов – 20 %.

3. Идет процесс расширения рынка логистических услуг из центра страны в регионы, что связано, главным образом, с активной экспансией международных и национальных торговых сетей.

4. Транспортная система в труднодоступных районах РФ характеризуется крайне неравномерным развитием и слабым уровнем транспортной освоенности.

5. Содержание транспортных артерий в условиях труднодоступных районов полярных регионов РФ связано с очень большими, гигантскими затратами, т.к. дороги в этих условиях могут устойчиво эксплуатироваться только зимой, в остальное время они представляют собой практически болото.

Перечень проблем, от решения которых зависит экономическое развитие не только в полярных регионах, но и страны в целом представлен на рис. 1.

Эффективное развитие объектов в полярных регионах возможно только на базе формирования транспортно-логистических систем. Главными предпосылками их создания являются: благоприятное экономико-географическое и геополитическое положение транспортного узла, например морского порта; уникальность территории, например незамерзающая акватория порта; наличие разнообразной транспортной инфраструктуры; транзитный потенциал; наличие складской инфраструктуры, специализированных терминалов, мультимодальных контейнерных и ро-ро терминалов (горизонтальный способ погрузки или разгрузки автотранспортного средства и вагонов на судно или с судна на их собственных колесах); наличие свободных земельных ресурсов; наличие высококвалифицированного персонала.

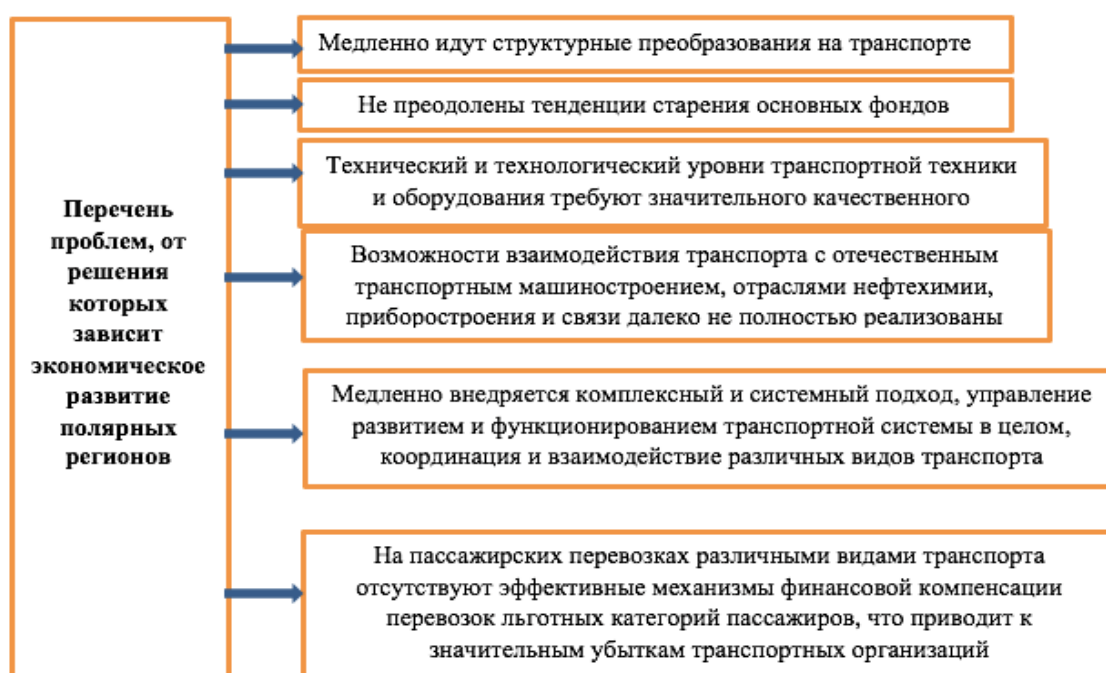


Рис. 1. Перечень проблем, от решения которых зависит экономическое развитие в полярных регионах

Важным становится освоение новых месторождений, создание новых предприятий топливно-энергетического комплекса (ТЭК), являющихся критически важными и стратегически важными для страны. Понятие «критически важный объект» в сфере инфраструктуры государства определено в «Концепции федеральной системы мониторинга критически важных объектов и (или) потенциально опасных объектов инфраструктуры Российской Федерации и опасных грузов», утвержденной распоряжением Правительства РФ от 27.08.2005 г. № 1314-р. Критически важные объекты, это объекты, нарушение (или прекращение) функционирования которых приводит к потере управления экономикой страны, субъекта или административно-территориальной единицы, ее необратимому негативному изме-

нению (или разрушению) или существенному снижению безопасности жизнедеятельности населения, проживающего на этих территориях, на длительный период времени».

Большая часть этих объектов располагается в труднодоступных полярных районах Крайнего Севера и Сибири с суровым климатом, что определяет необходимость проработки вопросов устойчивого развития элементов структуры промышленно-транспортной системы этих регионов государства.

В первую очередь необходимо развивать опорные терминально-логистические центры, создаваемые в основных транспортных узлах, связывающих различные виды транспорта (морской, речной и воздушный). Такие узлы могут быть созданы в Нарьян-Маре, Архангельске, Кандалакше, Мезени, Кеми, Онеге, Умбе, Диксоне, Игарке, Дудинки, Тикси, Амдерме, Хатанге, Певеке. Меридиональное расположение крупнейших сибирских рек (Лена, Енисей, Обь и Иртыш), где в основном расположены эти порты, позволяет им служить связующими звеньями между Транссибирской магистралью и Северным морским путем и обеспечивает доступ к самым отдаленным пунктам.

Устойчивое развитие объектов в полярных регионах с помощью опорных терминально-логистических центров направленно на обеспечение качества жизни людей в данном полярном регионе, процесса изменений, в котором эксплуатация природных ресурсов, направление инвестиций, ориентация научно-технического развития согласованы друг с другом и укрепляют потенциал региона. Люди, осваивающие природные богатства, должны трудиться в безопасных и благоприятных условиях и не оказывать при этом негативного воздействия на окружающую среду.

Поэтому защищенность устойчивого развития промышленности и транспорта в полярных регионах обеспечивается формированием общественной безопасности на базе комплексных систем мониторинга рисков и управления стойкостью. Без их эффективного формирования и эксплуатации невозможны ни экономическое развитие, ни социальный прогресс, ни соблюдение требований экологии. Поэтому системы безопасности должны быть комплексными, социально-природно-техногенными. Они позволят обеспечить устойчивое развитие предприятий, кластеров, городов в условиях деструктивного воздействия природных, техногенных факторов, актов незаконного вмешательства, с учетом человеческого фактора и уровня культуры безопасности. Организациями ООН выдвинуты ряд концепций и программ безопасного развития человечества, в числе которых концепции устойчивого развития, приемлемого и оправданного риска. Концепция устойчивого развития мирового сообщества, в основу которой положены представления о развитии социоприродных систем, реализуется отдельными государствами. Концепция приемлемого риска заключается в том, что каждое государство на основании представлений общества о соотношении качества жизни и безопасности законодательно устанавливает приемлемые уровни риска, которые обеспечиваются органами государственной власти

и управления всех уровней. Концепция оправданного риска складывается в каждой социально-экономической системе стихийно, а реализуется отдельными людьми в соответствии с их субъективными представлениями о соотношении качества жизни и безопасности и с личными обстоятельствами. Согласно этой концепции, приемлем тот риск, который общественно оправдан. Непосредственно рискующие члены общества, приемлемый уровень безопасности которых не может быть обеспечен на данном этапе развития науки и техники, получают социально-экономические компенсации от общества.

В Российской Федерации также разработаны концепция перехода к модели устойчивого развития и стратегия ее реализации в полярных регионах в долгосрочной перспективе. Конечная цель данной концепции состоит в решении задач социально-экономического развития, а также сохранении благоприятного состояния окружающей среды и природно-ресурсного потенциала в интересах удовлетворения жизненных потребностей нынешнего и будущих поколений. «Устойчивое развитие» экономики возможно только при условии решения экологических проблем. Поэтому формирование эффективной транспортно-логистической системы регионального уровня для обслуживания стратегически и критически важных объектах (СКО и КВО) в полярных регионах РФ базируется на основе решения вопросов устойчивого развития и напрямую связано с непрерывностью бизнеса и управлением качеством. Это предопределяет необходимость выявления компонентов и структуру связей безопасности технических систем объектов промышленности и транспортной инфраструктуры с окружающей средой. Трехдиагональная концепция устойчивого развития СВО и КВО в полярных регионах создается в результате объединения трех точек зрения: экономической, социальной и экологической. Схема устойчивого развития в полярных регионах приведена на рис. 2.



Рис. 2. Устойчивость развития в полярных регионах

В настоящее время объекты транспорта в полярных регионах постоянно испытывают воздействие со стороны природных и техногенных факторов, усугубляемое реальными угрозами актов незаконного вмешательства. Основой для обеспечения безопасности являются системы комплексного мониторинга природных и техногенных воздействий, актов незаконного вмешательства, способные реализовать технологии предупреждения о возможных рисках и угрозах. Это позволяет существенно минимизировать ущерб от чрезвычайных ситуаций, возникающих вследствие низкой эксплуатационной дисциплины, снижает риски террористических воздействий, позволяет оперативно локализовать и ликвидировать последствия аварий.

Весь комплекс работ может выполняться только после проведения в полярных регионах категорирования, оценки уязвимости и разработки планов безопасности объектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств.

Особая роль при этом отводится нормативно-правовому обеспечению, внедрению наилучших практик в сфере стандартизации, метрологии и обеспечении качества оборудования и услуг систем комплексной безопасности на объектах инфраструктуры промышленности и транспорта в полярных регионах. Это позволяет определять приемлемый уровень безопасности на каждом этапе их жизненного цикла. При этом нельзя ориентироваться только на организационно-распорядительные документы, требуется разработка технических регламентов, стандартов. Только с их помощью в полярных регионах можно формировать системы безопасности объектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств, осуществлять оценку уровня их совершенства. Унификация и типизация позволят значительно снизить стоимость и повысить качество. Особое внимание должно быть обращено на проведение мониторинга рисков, их ранжирование и выявление подсистем систем безопасности, нуждающихся в практической реализации в приоритетном порядке.

Одной из важнейших проблем в России является острая необходимость в подготовке кадров для обеспечения безопасности транспорта, повышению квалификации и переподготовке персонала непосредственно связанного с обеспечением безопасности и обслуживанием специальных систем в полярных регионах. Это связано с тем, что до 80 % аварий и катастроф вызваны «человеческим фактором», а также низким уровнем обеспечения «культуры безопасности» на объектах транспортной инфраструктуры и транспортных средствах.

Повышение квалификации и аттестация кадров, ведение мониторинга рисков и уровня «культуры безопасности» позволит достичь минимизации угрозы и ущерба населению, среде обитания и инфраструктуре от катастроф техногенного, природного и террористического характера в полярных регионах.

Для решения проблем по повышению уровня безопасности объектов, располагающихся в полярных регионах, а также в целях развития приоритета Российской Федерации в ходе исследований и присутствия в полярных регионах в январе 2017 сформирован Технический комитет по стандартизации 187 «Проведение исследований в полярных регионах» (ТК) в структуре Росстандарта согласно приказу №139 27.01.2017. ТК – это экспертная площадка в области стандартизации, которая на консенсусной основе вырабатывает нормативно-технические документы, необходимые для развития той или иной отрасли или сегмента рынка.

Перспектива работы такого ТК позволит в формате «мягкой силы» обосновать необходимость применения российских технических регламентов и высокотехнологичной продукции в АЗРФ, СМП, таким образом создаст предпосылку для обеспечения «научного приоритета» РФ в развитии полярных регионов.

По данным исследований, проведенных в Великобритании, Франции, Канаде и других странах, вклад стандартизации в государственную экономику оценивается как 0.2-0.9 % ВВП. Значит, установить правовые основы стандартизации в полярных регионах России — шаг и прогрессивный, и выгодный. Утвержденные Законом 162-ФЗ «О стандартизации в РФ» нововведения позволят сократить затраты малого и среднего бизнеса и повысить производительность труда за счет применения прописанных в стандартах апробированных решений. Эти меры благоприятно скажутся на экономике полярных регионов и России в целом, как в ближайшем будущем, так и в долгосрочной перспективе. В соответствии с 162-ФЗ сроки внедрения зарубежных и международных стандартов российскими компаниями сократятся, что позволит быстрее модернизировать предприятия и выпускать максимально конкурентоспособную отечественную продукцию. При этом закон способствует созданию рыночных условий, стимулирующих производителей повышать качество товаров и услуг.

Список литературы

1. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года Распоряжение Правительства Российской Федерации от 22 ноября 2008г. № 1734-р.
2. Акимова Т.А., Мосейкин Ю.Н. Экономика устойчивого развития // Экономика. 2009. 432 с.
3. Андрианов В.А. Формирование транспортной инфраструктуры российского сектора Арктики в XXI веке // Арктика и Север. № 9.
4. Балановский Л.В., Балановский В.Л., Калмыков В.М. Форсайт и дорожная карта: решение проблем электромагнитной безопасности// Качество и жизнь, 2011.
5. Устойчивое развитие. Методология и методики измерения/ С.Н.Бобылев, Н.В.Зубаревич, С.В.Соловьева, Ю.С.Власов // Экономика, 2011. 360 с.

6. Махутов Н.А., Балановский Л.В., Балановский В.Л. Разработка систем электромагнитной безопасности критических объектов// Радиопромышленность. 2011. №2.

7. Махутов Н.А., Абросимов Н.В., Гаденин М.М. Обеспечение безопасности — приоритетное направление в области фундаментальных и прикладных исследований // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2013. № 3 (27).

8. Русанов И.П. О комплексном развитии транспортно-логистических систем в регионах России, прилегающих к Арктике.

9. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года, утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 22.11.2008 № 1734-р.

10. Трегубов В.Н. Прогнозирование показателей развития логистической системы общественного транспорта на основе методологии синхронизации // Вестник Саратовского государственного технического университета. № 1 (52). 2011. С. 259-268.

11. Трегубов В.Н. Логистика и синхронизация в системе пассажирского транспорта // Российское предпринимательство. 2010. Вып. 2. № 6. С. 142-146.

12. Трегубов В.Н. Концепция синхронизации как основа администрирования в самоорганизующихся логистических системах // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2010. Вып. 2. № 4 (50).

13. Шпак А.В. К вопросу о логистической координации товародвижения в арктических регионах России// Вестник КНЦ РАН. N 4.

Махутов Николай Андреевич, д-р техн. наук, проф., член-корр. РАН, руководитель РГ «Риск и безопасность» при Президенте РАН, kuprikov@russianpolar.ru, Россия, Москва, РАН,

Куприков Михаил Юрьевич, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой, kuprikov@russianpolar.ru, Россия, Москва, Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет),

Балановский Владимир Леонидович, зам. председателя комитета Московской торгово-промышленной палаты по комплексной безопасности, президент проблемного отделения «Комплексная безопасность» Академии проблем качества, действ. член АПК и ВАХКБ, kuprikov@russianpolar.ru, Россия, Москва, Академия проблем качества,

Куприков Никита Михайлович, канд. техн. наук, старший научный сотрудник, директор, kuprikov@russianpolar.ru, Россия, Москва, АНО Научно-информационный центр «Полярная инициатива», Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет)

PROVIDING OF SAFETY OF OBJECTS IS IN ARCTIC REGIONS

N.A. Makhutov, M.Y. Kuprikov, V.L. Balanovskiy, N.V. Kuprikov

This article examines the problems from the solution of which depends economic development in the polar regions, the process of improving the formation of integrated security systems for industrial and transportation facilities in the polar regions.

Key words: Sustainable development, critical facility, integrated security, destructive impact, technogenic accident, act of unlawful interference, transport and logistics systems, terminal and logistics centers.

Makhutov Nikolay Andreevich, doctor of technical sciences, professor, the corresponding member RAS, head of the WG "Risk and security" under the President of the RAS, kuprikov@russianpolar.ru, Russia, Moscow, RAS,

Kuprikov Mikhail Yuryevich, doctor of technical sciences, professor, head of Department, kuprikov@russianpolar.ru, Russia, Moscow, Aviation Institute (National research university),

Balanovsky Vladimir Leonidovich, Deputy Chairman of the Committee of the Moscow chamber of Commerce and industry on integrated security, the President of the troubled branches of "Comprehensive security" of the Academy of quality problems and actions. member of APK and BANKB, kuprikov@russianpolar.ru, Russia, Moscow, Academy of quality problems and actions,

Kuprikov Nikita Mikhailovich, candidate of technical sciences, senior researcher director, kuprikov@russianpolar.ru, Russia, Moscow, ANO SRC «Polar initiative», Moscow aviation university (National research university)

УДК 621.878.2

МОДЕРНИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ И ОРГАНИЗАЦИЯ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ КОМПАКТОРОВ НА ПОЛИГОНАХ ТКО

К.Г. Пугин, Н.К. Иванов, И.Э. Шаякбаров

В настоящее время стоит вопрос о применении новых современных технологий в различных сферах народного хозяйства, в частности, в переработке твердых коммунальных отходов. В данной статье рассмотрена перспектива внедрения новых технологий защиты техники, используемых на полигонах для утилизации ТКО.

Ключевые слова: ТКО, полигоны, эксплуатация, компакторы.

Одной из важных проблем в наши дни является утилизация твердых коммунальных отходов (ТКО). Их количество растет в геометрической прогрессии ввиду активного роста городов и объемов потребления населения. Динамика образования и использования ТКО на территории РФ следующая: в 2007 объемы образования составляют 52,6 миллиона тонн, из них только 8,7 миллионов тонн используются как вторсырье, а в 2013 году образовано 67,4 миллионов тонн мусора, из которых на повторную переработку отправлено 9,5 миллионов тонн [1].

Использование отходов как вторсырье крайне мало в сравнении с их образованием. Это связано с большими затратами на извлечение ресурсного потенциала из ТКО и низкой стоимостью размещения отходов в окружающей среде. В этой связи большинство ТКО подвергаются захоронению на специальных площадках – полигонах. Работает данный полигон по следующему циклу: специализированные машины привозят отходы на полигон и выгружают его, специальные машины, перемещая мусорные массы, выравнивают и трамбуют площадку. Далее все это засыпается землей и цикл повторяется вновь. После заполнения полигона производят рекультивацию территории [2,3].

Морфологический состав отходов весьма разнообразен и зависит от климатической зоны (табл.1).

Таблица 1

Морфологический состав ТБО в зависимости от различных климатических зон, % [4]

Компоненты	Зоны		
	средняя	южная	северная
Бумага, картон	30-38	20-30	21-24
Пищевые отходы	30-39	35-45	30-38
Дерево	1-2,5	1-2	2-4
Металл	2-3	1-3	3-5
Текстиль	3,5-4,5	5-7	5-7
Кости	0,5-2	1-2	2-4
Стекло	5-8	3-6	6-10
Кожа, резина	1-5	1-3	3-7
Камни	1-3	1-2	1-2
Пластик	1,5-2	1,5-2	1,5-2
Прочее	0,5-1	1-2	2-4
Отсев (менее 15 мм)	7-14	10-18	7-10

Химический состав ТКО также разнообразен и изменяется от вида климатической зоны расположения населенного пункта - источника ТКО (табл. 2).

Таблица 2

Химический состав ТКО в зависимости от различных климатических зон, % [4]

Показатель	Пределы измерения для климатических зон		
	средняя	южная	северная
Органическое вещество	56-72	56-80	55-60
Зольность	28-44	20-44	40-45
Общий азот	0,9-1,9	1,2-2,7	1,2-1,6
Кальций	2-3	4-5,7	2,1-4,8
Углерод	30-35	28-39	28-30
Влажность общей массы	40-50	35-70	43-48
Фосфор	0,5-0,8	0,5-0,8	0,4-0,5
Общий калий	0,5-1	0,5-1,1	0,4-0,5

Исходя из табл.1 и 2, можно сделать вывод, что повышенное содержание органических веществ, обширный химический состав негативным образом влияют на машиниста и машину, образуя патогенную агрессивную среду.

Основную работу по укладке и уплотнению отходов на полигонах выполняют бульдозеры и компакторы (рис.1).

Разнообразный морфологический и химический составы ТКО формируют зону повышенной опасности как для человека-оператора, так и для самой машины. Для обеспечения безопасных условий производственной и технической эксплуатации необходимо провести анализ видов источников опасности.

Для компакторов ввиду специфической и опасной среды эксплуатации (согласно ГОСТам 12.1.004-91, 12.1.005-88, 12.1.007-76, 12.1.010-76, 12.1.012-90, 12.1.019-79, 12.2.011-2003) вводятся общие и специальные требования безопасности, которые снижают риски возникновения или степень последствий воздействия источников опасных воздействий.



Рис. 1. Компактор при работе на полигоне [5]

К общим требованиям безопасности относят:

основные источники опасности (излучения; биологические воздействия; взрывы; механические воздействия; пожары; промышленные опасности; термические воздействия; химические воздействия; опасности поражений электрическим током и электромагнитными полями; ядерное и радиационное влияние);

дополнительные источники опасности (воздействие шума; воздействие вибрации; опасности, приводящих к различным неврологическим или сосудистым расстройствам; опасности, вызванные пренебрежением нормами эргономики, общепринятой практикой конструирования машин);

дополнительные источники опасности, определяемые движением машины (в связи с возможностью хода машин; связанные с рабочим местом оператора; опасности, связанные с действиями посторонних лиц и случайных факторов; ошибки управления оператора).

К специальным требованиям относят особенности конструкции машин и условия эксплуатации [6].

Опасные факторы могут воздействовать на оператора, который управляет машиной, либо на саму машину. Специалисты по технической эксплуатации транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования (ТиТТМО), в основном рассматривают только воздействия на машину, чтобы предотвратить нарушения ее работоспособности.

Анализ статистических данных по аварийности на полигонах показывает, что основными опасными воздействиями могут считаться: химическое; механическое и термическое воздействие.

Химическое воздействие появляется ввиду того, что в состав бытовых отходов попадают не только бытовой мусор, но и различные химические реагента (соляная, серная, азотная кислоты, щелочи, соли металлов), в результате смешивания которых образуются вещества, разъедающие окрашенные элементы кузова, резину, пластик и вызывающие усиленную коррозию металла (отвала, мест соединения гидравлических шлангов, колес и шипов для уплотнения), вследствие чего транспорт быстрее выходит из строя.

Одним из вариантов решения этой проблемы можно считать полное улучшенное прорезинивание всей нижней поверхности техники использование более устойчивой к химическому воздействию резины (например, для шлангов).

Механическое воздействие на компактор может возникнуть в следствие:

- попадания в провалы;
- взаимодействия агрегатов машины с крупногабаритным мусором;
- опрокидывания компактора;
- наезда на человека или крупногабаритный мусор.

Провалы образуются в связи с разложение органической части отходов, что влечет к уменьшению объемов массы мусора, образованию газов и воды, извлекаемых специальными устройствами. Для определения таких мест предлагается использовать георадары для определения провалов. Данный метод был использован инженерами Центра космических полетов при создании робота GROVER для сбора радиолокационных данных о территории Гренландии.

Опасность повреждения агрегатов машины крупногабаритным мусором обычно происходит из-за того, что на полигон вывозят строительный мусор, содержащий в себе крупные куски бетона и острые прутья арматуры, способные при неверном управлении или при большой скорости серьезно повредить техническое средство. Для этих целей возможно применение специальных защитных утолщенных твердосплавных листов для того, чтобы прикрыть наиболее уязвимые места (элементов трансмиссии, приводов, электроники и т.д.). Данный опыт используется широко в машиностроении, например, защита редукторов, коробок передач и картера на легковых автомобилях.

Также компактор **может перевернуться** на склонах полигона ввиду невнимательности водителя-механика или из-за несоответствующего укрепления склонов. Для исключения таких случаев необходимо соблюдать допустимый угол уклона для продольного положения техники на склоне. Для этих целей необходимо использовать датчик наклона, подобный тем, которые используют в автомобилях в охранных системах.

Для исключения случаев наезда на работников полигона или лиц, проникших на него из вне, нужно установить на машину датчики, указывающие на приближение к препятствию и расстояние до него. Такая система широко применяется в легковых автомобилях для помощи при парковке (парктроники).

Опасность возгорания техники (термическая опасность) возможна в нескольких случаях. Это и неисправность электрических систем (замыкание проводов, контактов), и подтеки горюче-смазочных материалов. Это возможно предупредить при операциях на техническом обслуживании (ТО) и ежесменных технических обслуживаниях (ЕТО). Но основной причиной возгорания является тление мусора на глубине и провал машины в полость с высокой температурой. Для предотвращения провала и раннего оповещения машиниста о наличие такого участка необходимо предусмотреть возможность установки тепловизора для определения очагов тления и горения мусора.

На основе анализа видов опасных факторов возникающих при эксплуатации компакторов на полигонах ТКО, в целях повышения степени ее безопасности, можно сделать предложение о необходимости оснащения дополнительными датчиками, которые позволяли бы: исключать наезд на препятствие, реагировать на повышенную температуру среды, резкое снижение несущей способности ТКО (пустоты). Дополнительно необходимо предусмотреть пассивную защиту от воздействия агрессивной внешней среды и механических воздействий на элементы машины (рис.2).

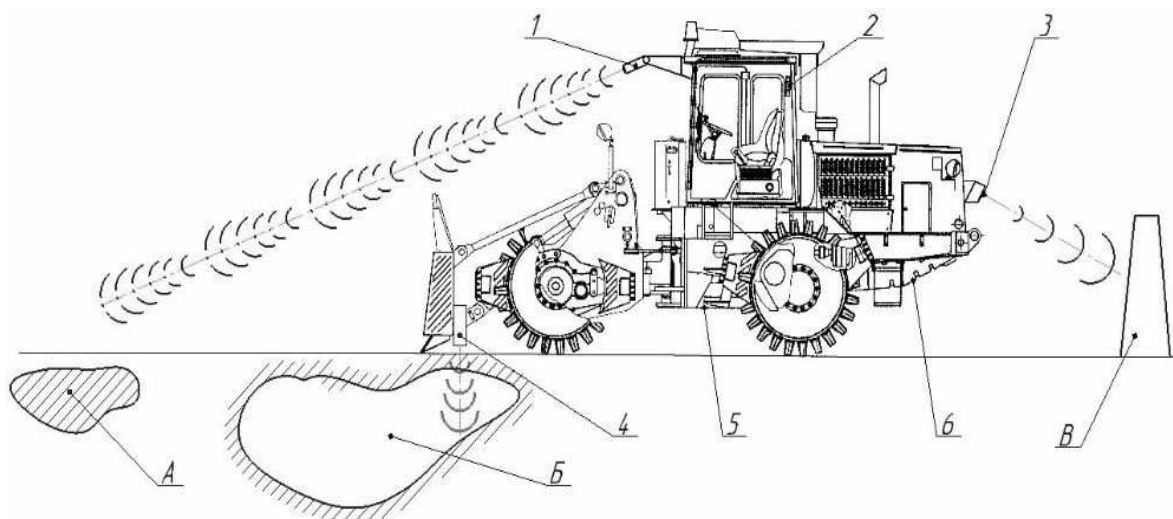


Рис. 2. Компактор, оснащенный дополнительными датчиками:
1 - тепловизор; 2 - датчик наклона; 3 – датчик приближения к препятствию; 4 - георадар; 5 – защита нижней части машины; 6 – слой резины; А - тлеющий участок полигона; Б - провал; В - препятствие (человек, крупногабаритный груз) [7]

Список предполагаемого оборудования и его назначения представлены в табл.3.

Таблица 3

Устанавливаемое на компактор оборудование

Название оборудования	Место установки	Выбор места установки	Цель установки
Тепловизор	К кабине с помощью кронштейна	Достаточное расстояние и высота обзора для работы прибора; легкий доступ для обслуживания и ремонта	Обнаружение и сигнализация водителю об нахождении впереди участка полигона, наезд на который вызовет возгорание машины
Датчик наклона	К корпусу внутри кабины	Защита от негативных воздействий как среды, так и компонентов машины; легкий доступ для ремонта и технического обслуживания	Определение угла наклона машины относительно эталонного положения и сигнализация водителю о возможности опрокидывания машины
Датчик приближения к препятствию	К верхней крышке двигателя с помощью кронштейна	Необходимость контроля пространства позади машины; легкий доступ для ремонта и технического обслуживания	Определение и сигнализация водителю о том, что сзади машины находится препятствие
Георадар	В внутренней нижней части отвала	Защита от различных негативных воздействий окружающей среды; легкий доступ для ремонта и технического обслуживания	Позволяет определить участок полигона, наезд на который приведет к проваливанию машины под землю

Название оборудования	Место установки	Выбор места установки	Цель установки
Элементы защиты от механического воздействия	К штатным местам крепления	Необходимости защиты нижней части техники	Предотвращает повреждение мостов, двигателя и других модулей машины крупногабаритным мусором
Элементы защиты от химического воздействия	-	Необходимости защиты нижней части техники	Защищает металл от агрессивного химического воздействия ТКО

Для сигнализации можно использовать специальный монитор со звуковым сопровождением для удобства восприятия аварийных сигналов. Так же необходимо учесть тот факт, что в некоторых случаях (например, если срабатывает датчика приближения к препятствию, но водитель не останавливается, и до предмета остаются считанные сантиметры) нужно немедленно остановить компактор и выключить все рабочие органы. Поэтому для этого необходимо связать электронный блок управления машины с монитором для вывода информации для своевременной реакции на аварийную сигнализацию.

Установка данных дополнительных модулей не даст должно эффекта без своевременного технического обслуживания и ремонта машины, проверки и калибровки приборов. Для этого необходимо оборудовать на территории полигона ТКО специализированный бокс, состоящий из двух частей (рис.3). Первая часть - пост мойки (бокс №1), где с машины с помощью аппарата мойки высокого давления 1 смывается грязь, остатки мусора, различные стекшие горюче-смазочные материалы. Данная процедура осуществляется водой со специальными компонентами, способными эффективно бороться как с вышеуказанными загрязнениями, так и с патогенной микрофлорой на поверхности машины. После процедуры помывки машина некоторое время находится в боксе для того, чтобы вода стекла в сливную яму 2, откуда она с помощью насоса перекачивается в пункт сбора и очистки сточных вод самого полигона. Далее техника перемещается в бокс №2 - пост технического обслуживания. Данный пост оборудован смотровой ямой 6, позволяющей проводить осмотр, ежедневное обслуживание, техническое обслуживание, сезонное обслуживание. Также имеются

рабочие верстаки 4, различные шкафы 5 для хранения рабочего инвентаря и инструмента. Также в данном помещении имеются запасы горюче-смазочных материалов (ГСМ) 3 для дозаправки компактора всеми необходимыми рабочими жидкостями [8].

Данный бокс обеспечивает:

безопасность обслуживания (достигается мойкой машины специальными веществами (вещества на основе хлора или дихлоризоцианурат натрия) [9], убивающими бактерии, тщательной вентиляцией помещения, обеспечением противопожарной безопасности и т.д.);

удобство (сокращение скорости проведения работ, крайне малое время перегонки машины от одного поста к другому);

отсутствие больших затрат на эксплуатацию, ремонт и техническое обслуживание (отсутствие необходимости вывоза машины на специализированном транспорте, нет необходимости постоянно нанимать специалистов по ТО и ремонту, если обучить уже имеющийся персонал и т.д.) [10].

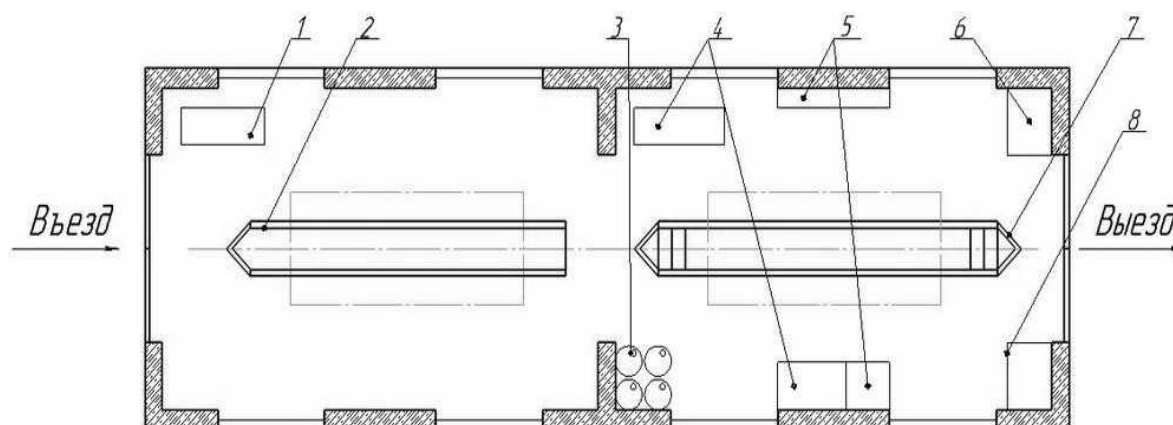


Рис. 3. Специальный бокс для обслуживания техники на полигоне ТКО: 1 - мойка высокого давления (вода с добавлением специальных добавок для уничтожения патогенной микрофлоры); 2 - сливная яма; 3 - место хранения ГСМ; 4 – верстаки; 5 – шкафы с инструментами; 6 – шкаф с противопожарным оборудованием; 7 – смотровая яма; 8 – шкаф с ветошью

Работа на полигонах ТКО - весьма опасная и затруднительная работа ввиду специфических условий эксплуатации техники. Для эффективной работы машина в данных условиях требуется их серьезная модернизация и соответствующее техническое обслуживание и ремонт. Предложенные в данной статье устанавливаемые на компактор модули способны свести к минимуму возможности повреждения или уничтожения машины и обезопасить водителя. А разработанная модель бокса для технического обслуживания и ремонта позволит своевременно производить диагностику, ре-

монтаж и наладку модулей и самой машины, производить все виды планово-предупредительных работ для комфортной и безопасной работы техники на полигонах ТКО.

Список литературы

1. Кириллов В.В. Об утилизации отходов в Российской Федерации [Электронный ресурс]. URL: <http://www.waste.ru/modules/section/item.php?itemid=193> (дата обращения: 20.04.2017).

2. Инструкция по проектированию, эксплуатации и рекультивации полигонов для твердых бытовых отходов, г. Москва, 1996 г. [Электронный ресурс]. URL: <http://svntsixtn.appspot.com/shema-poligona-tbo.html> (дата обращения: 20.04.2017).

3. ТСН-30-308–2002. Территориальные строительные нормы Московской области. Проектирование, строительство и рекультивация полигонов твердых отходов в Московской области. М.: ООО «Форбос», 2002.

4. Ильиных Г. В. Использование результатов определения морфологического состава твердых бытовых отходов для обоснования системы обращения с отходами // Вестник ПНИПУ = Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Urbanity. Урбанистика. 2012. № 1(5). С. 35-42.

5. Официальный сайт компании Caterpillar [Электронный ресурс]. URL: http://www.cat.com/id_ID/products/new/equipment/compactors/landfill-compactors/18482468.html (дата обращения: 20.04.2017).

6. Зорин В.А., Даугелло В.А. Безопасность дорожно-строительных машин и оборудования: учебник. М.: МАДИ, 2013. 192 с.

7. Баловнев В.И., Пугин К.Г., Данилов Р.Г. Машины для уплотнения твердых бытовых и промышленных отходов. Технология использования, конструкция и расчет: учеб. пособие / под общей ред. В.И. Баловнева. Пермь: ПНИПУ, 2014. 103 с.

8. Мишин М.М., Кузнецов П.Н. Проектирование предприятий технического сервиса: учебное пособие. Мичуринск: Изд-во МичГАУ, 2008. 213 с.

9. FB.ru [Электронный ресурс]. URL: <http://fb.ru/article/259893/tabletki-dlya-obezzarajvaniya-vodyi-dlya-pitya-sostav-vidyi-i-otzyivyi> (дата обращения: 20.04.2017).

10. ТР ТС 010/2011 «О безопасности машин и оборудования».

Пугин Константин Георгиевич, д-р техн. наук, доц., 123zzz@rambler.ru, Россия, Пермь, Пермский национальный исследовательский политехнический университет,

Иванов Никита Константинович, студент, nikitaivanov59@mail.ru, Россия, Пермь, Пермский национальный исследовательский политехнический университет,

Шаякбаров Ильнур Эльмарович, студент, schayakbaroff.iln@yandex.com, Россия, Пермь, Пермский национальный исследовательский политехнический университет

**THE ORGANIZATION OF SAFE OPERATION OF COMPACTORS
ON PROVING GROUNDS**

K.G. Pugin, N.K. Ivanov, I.E. Shayakbarov

Now there is a question of application of the new current technologies in various spheres of the national economy, in particular, in processing of solid municipal waste. In this article the prospect of introduction of the new technologies of protection of the equipment used on proving grounds for utilization is considered.

Key words: Proving grounds, introduction, compactors.

Pugin Konstantin Georgiyevich, doctor of technical sciences, docent, 123zzz@rambler.ru, Russia, Perm, State National Research Polytechnical University of Perm,

Ivanov Nikita Konstantinovich, student, nikitaivanov59@mail.ru, Russia, Perm, State National Research Polytechnical University of Perm,

Shayakbarov Inur Elmarovich, student, schayakbaroff.iln@yandex.com, Russia, Perm, State National Research Polytechnical University of Perm

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИНЖЕКЦИИ СЕРОВОДОРОДА В ПОРИСТУЮ СРЕДУ, НАСЫЩЕННУЮ НЕФТЬЮ И ВОДОЙ

М.К. Хасанов

Выполнено численное моделирование инъекции жидкого сероводорода в пористую среду, насыщенную нефтью и водой, сопровождающейся образованием газогидрата H_2S . Построены автомодельные решения для случая, когда образование газогидрата происходит на фронтальной поверхности вытеснения нефти сероводородом. Численно исследована зависимость координаты, давления и температуры фронта гидратообразования от массового расхода инъекции и начальной водонасыщенности пористой среды.

Ключевые слова: математическая модель, автомодельное решение, пористая среда, фильтрация, газогидраты, сероводород.

Введение. Подземное захоронение сероводорода, вырабатываемого промышленными объектами, в нефтегазовых коллекторах является одним из методов снижения его эмиссии в атмосферу [1,2]. Поскольку при долгосрочном подземном хранении утилизируемых газов в виде флюида существует риск их утечки на поверхность, то рассматривается возможность их перевода в газогидратное состояние, которое по сравнению со свободным состоянием, позволяет хранить одинаковое количество газа при значительно меньших давлениях [3-5].

Поскольку любые технологические идеи должны быть подкреплены соответствующими расчетами, основанными на теоретических моделях, то актуальной задачей является построение адекватных математических моделей гидратообразования, учитывающих тепломассоперенос в пористой среде. Математические модели образования газогидратов в протяженных пористых пластах при инъекции газа сформулированы, в частности, в работах [6,7]. Однако в данных работах закачивается, тот же самый газ, который насыщает пласт в начальном состоянии. Математические модели инъекции жидкого и газообразного диоксида углерода в пласт, содержащий метан и воду в свободном состоянии, представлены в работах [8,9]. В настоящей работе построена математическая модель образования газогидрата H_2S при закачке жидкого сероводорода в пласт, насыщенный нефтью и водой.

Постановка задачи. Условия существования газогидрата сероводорода показаны на фазовой диаграмме (рис.1) [3]. На данной диаграмме кривая gh определяет трехфазное равновесие между водой, газообразным сероводородом и его газогидратом, кривая lh – равновесие между водой, жидким сероводородом и его газогидратом, а кривая lg – двухфазное равновесие между жидким и газообразным сероводородом. Соответственно

газогидрат сероводорода существует левее кривых gh и lh . В квадрупольной точке Q (302,6 K и 2,24 МПа) все четыре указанные фазы находятся в равновесии. Начальные значения давления и температур пласта в рассматриваемой задаче лежат выше кривой lg и левее кривой lh (т.е. в области существования жидкого сероводорода и его газогидрата).

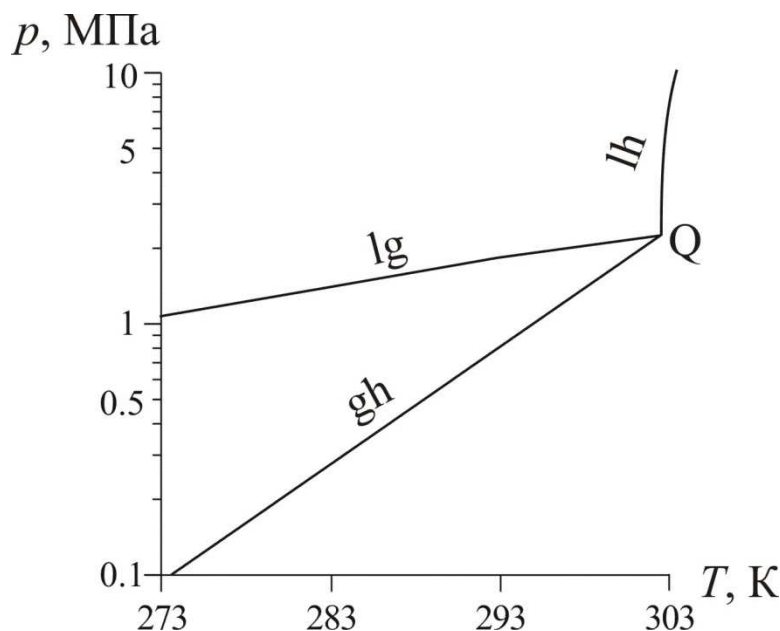


Рис. 1. Фазовая диаграмма системы « H_2S-H_2O »

Пусть через скважину, вскрывшую пласт на всю толщину, закачивается жидкий сероводород. В данной работе будем рассматривать модель с поршневым вытеснением нефти сероводородом, а также случай, когда значение исходной водонасыщенности пласта не превышает 0,2, тогда воду можно считать неподвижной. Рассматривая масштабы времени, значительно превышающие характерное время кинетики процесса гидратообразования и учитывая, что в рассматриваемой задаче начальное состояние пласта соответствует условиям образования газогидрата сероводорода можно полагать, что гидратообразование происходит на фронтальной границе вытеснения нефти сероводородом. Следовательно, в рассматриваемом случае в пласте образуются две характерные области. В первой (ближней) области поры насыщены жидким сероводородом и его газогидратом, а во второй (дальней) области – нефтью и водой.

Основные уравнения. Примем следующие упрощающие предположения: пористость пласта постоянна; скелет пористой среды, газовый гидрат и вода несжимаемы и неподвижны; температуры пористой среды и насыщающего вещества совпадают (однотемпературная модель). Гидрат является двухкомпонентной системой с массовой концентрацией сероводорода G .

Система основных уравнений, описывающая процессы фильтрации и теплопереноса в пористой среде и представляющая собой законы сохранения масс и энергии, закон Дарси и уравнение состояния, в осесимметричном случае при отмеченных выше допущениях в каждой из областей имеет вид [7]

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho_i m S_i) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r}(r \rho_i m S_i v_i) &= 0; \\ \rho c \frac{\partial T}{\partial t} + \rho_i c_i m S_i v_i \frac{\partial T}{\partial r} &= \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \lambda \frac{\partial T}{\partial r} \right); \\ m S_i v_i &= - \frac{k_i}{\mu_i} \frac{\partial p}{\partial r}; \end{aligned} \quad (2)$$

$$\rho_s = \rho_{0s} \exp(\beta_s (p - p_0)), \quad \rho_l = \rho_{0l} (1 + \beta_l (p - p_0)).$$

Здесь t – время, с; r – радиальная координата, м; m – пористость, д. ед; p – давление, Па; T – температура, К; нижние индексы $i=s, l$ относятся соответственно к параметрам сероводорода и нефти; S_i – насыщенность пор, д. ед; ρ_i – плотность, кг/м³; k_i – фазовая проницаемость, м²; v_i – действительная средняя скорость, м/с; c_i – удельная теплоемкость, Дж/(К кг); μ_i – динамическая вязкость, Па с; β_i – коэффициент сжимаемости, Па⁻¹; ρc и λ – эффективные значения объемной теплоемкости, Дж/(К м³), и коэффициента теплопроводности, Вт/(м К), для насыщенного пласта. Поскольку основной вклад в значения ρc и λ вносят соответствующие параметры горной породы, то в дальнейшем будем считать их постоянными величинами.

Зависимость коэффициента фазовой проницаемости k_i от насыщенности S_i и абсолютной проницаемости k_0 зададим на основе формулы Козени [10]:

$$k_i = k_0 S_i^3 \quad (i=s, l).$$

На границе между областями выполняются соотношения, следующие из условий баланса массы и теплоты:

$$\begin{aligned} - \frac{k_s}{\mu_s} \frac{\partial p_1}{\partial r} &= m \left(\frac{\rho_h}{\rho_s} S_h G + S_s \right) V_n; \\ - \frac{k_l}{\mu_l} \frac{\partial p_2}{\partial r} &= m S_l V_n; \\ m S_h \rho_h (1 - G) V_n &= m S_w \rho_w V_n; \\ \lambda \frac{\partial T_1}{\partial r} - \lambda \frac{\partial T_2}{\partial r} &= m \rho_h L_h S_h V_n. \end{aligned} \quad (3)$$

Здесь L_h – удельная теплота образования газогидрата из жидкого сероводорода и воды, Дж/кг; нижние индекс $j=1,2$ относятся соответственно к параметрам в первой и второй области; G – относительная массовая концентрация сероводорода в газогидрате, д. ед.; S_{w0} – начальная водона-

сыщенность пласта, д. ед; V_n – скорость движения границы гидратообразования, м/с. Температуру и давление на этой границе будем считать непрерывными. Здесь и далее нижний индекс n относится к параметрам на границе между областями, а нижние индексы w и h – соответственно к параметрам воды и газогидрата.

Из третьего уравнения системы (3) для величины гидратонасыщенности в первой области имеем

$$S_h = \frac{\rho_w S_{w0}}{\rho_h (1 - G)}.$$

Введем безразмерную величину P_1 , равную приведенной плотности жидкого сероводорода:

$$P_1 = \rho_s / \rho_{0s} = \exp(\beta_s (p_1 - p_0)).$$

На основе системы (2) уравнения пьезопроводности и температуропроводности в каждой из областей запишутся в виде

$$\begin{aligned} \frac{\partial P_1}{\partial t} &= \chi_1^{(p)} \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial P_1}{\partial r} \right); \\ \frac{\partial T_1}{\partial t} &= \chi^{(T)} X_1 \frac{\partial P_1}{\partial r} \frac{\partial T_1}{\partial r} + \chi^{(T)} \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T_1}{\partial r} \right); \end{aligned} \quad (4)$$

$$\frac{\partial p_2}{\partial t} = \chi_2^{(p)} \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial p_2}{\partial r} \right);$$

$$\frac{\partial T_2}{\partial t} = \chi^{(T)} X_2 \frac{\partial p_2}{\partial r} \frac{\partial T_2}{\partial r} + \chi^{(T)} \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T_2}{\partial r} \right), \quad (5)$$

где

$$\begin{aligned} \chi^{(T)} &= \frac{\lambda}{\rho c}; \quad \chi_1^{(p)} = \frac{k_s}{\mu_s m (1 - S_h) \beta_s}; \\ \chi_2^{(p)} &= \frac{k_l}{\mu_l m (1 - S_{w0}) \beta_l}; \quad X_1 = \frac{\rho_{0s} c_s k_s}{\lambda \mu_s \beta_s}; \quad X_2 = \frac{\rho_{0l} c_l k_l}{\lambda \mu_l \beta_l}. \end{aligned}$$

Будем полагать, что через скважину, которая вскрыла пласт на всю его толщину, инжектируется жидкий сероводород с заданным массовым расходом Q и температурой T_e . В результате его инжекции образуется область, насыщенная сероводородом и его газогидратом. В данной работе будем рассматривать достаточно большие значения времени после начала инжекции сероводорода, при которых радиус первой зоны r_n значительно превышает радиус скважины r_e . Тогда можно полагать, что величина r_e практически не оказывает влияния на особенности протекания процесса гидратообразования в пласте. Тогда условия на скважине с учетом закона Дарси примут вид

$$r=r_e: -\frac{2k_s\pi\rho_{0s}}{\mu_s\beta_s}\left(r\frac{\partial P_1}{\partial r}\right)=Q, T=T_e \quad (r_e \rightarrow 0, t > 0).$$

Автомодельное решение. Введем автомодельную переменную:

$$\xi = r/\sqrt{\chi^{(T)}t}.$$

Для этой переменной из (4) и (5) получим решения для давления и температуры в каждой из областей:

$$P_1 = P_n + \frac{Q\mu_s\beta_s I(\xi, \xi_n; \eta_1)}{2\pi\rho_{0s}k_s};$$

$$T_1 = T_n + \frac{(T_e - T_n)J_1(\xi, \xi_n)}{J_1(0, \xi_n)}, \quad 0 < \xi < \xi_n; \quad (6)$$

$$P_2 = p_0 + (p_n - p_0) \frac{I(\xi, \infty; \eta_2)}{I(\xi_n, \infty; \eta_2)};$$

$$T_2 = T_n + \frac{(T_n - T_0)J_2(\xi, \infty)}{J_2(\xi_n, \infty)}, \quad \xi_n < \xi < \infty, \quad (7)$$

где $\eta_j = \chi_j^{(p)} / \chi^{(T)}$ ($j=1, 2$) и введены обозначения интегралов:

$$I(a, b; c) = \int_a^b \frac{1}{\xi} \exp\left(-\frac{\xi^2}{4c}\right) d\xi, \quad J_1(a, b) = \int_a^b \frac{1}{\xi} \exp\left(-\frac{\xi^2}{4} - X_1 P_1\right) d\xi,$$

$$J_2(a, b) = \int_a^b \frac{1}{\xi} \exp\left(-\frac{\xi^2}{4} - X_2 P_2\right) d\xi.$$

На основе соотношений (3) с учетом решений для давления и температуры (6) и (7) получим уравнения для нахождения координаты границы гидратообразования ξ_n и значений параметров p_n и T_n на ней:

$$\frac{Q\mu_s\beta_s}{\pi k_s \rho_{0s}} \exp\left(-\frac{\xi_n^2}{4\eta_1}\right) = A_1 P_n \xi_n^2; \quad (8)$$

$$\frac{(p_n - p_0) \exp\left(-\frac{\xi_n^2}{4\eta_2}\right)}{I(\xi_n, \infty; \eta_2)} = A_2 \xi_n^2; \quad (9)$$

$$\frac{(T_n - T_e) \exp\left(-\frac{\xi_n^2}{4} - X_1 P_n\right)}{J_1(0, \xi_n)} - \frac{(T_0 - T_n) \exp\left(-\frac{\xi_n^2}{4} - X_2 P_n\right)}{J_2(\xi_n, \infty)} = B \xi_n^2, \quad (10)$$

$$\text{где } A_1 = \frac{m\mu_s\beta_s\chi^{(T)}}{k_s} \left(\frac{\rho_h G S_h}{\rho_{0s}} + 1 - S_h \right), \quad A_2 = \frac{m\mu_l\chi^{(T)}}{k_l} (1 - S_{w0}), \quad B = \frac{m\rho_h L_h S_h}{2\rho c}.$$

Записанная система уравнений в работе решалась следующим образом. Выразив из уравнения (9) величину p_n (как функцию ξ_n) и подставив данное значение p_n в уравнение (8), получаем трансцендентное уравнение с одной неизвестной ξ_n , которое в работе решено методом половинного деления. Затем из уравнений (9) и (10) определяем значения давления p_n и температуры T_n на границе ξ_n между областями.

Результаты расчетов. На рис. 2 приведена зависимость автономной координаты границы гидратообразования, а также давления и температуры на ней от массового расхода инъекции сероводорода при двух разных значениях исходной водонасыщенности пористой среды $S_{w0}=0,05$ (кривая 1) и $S_{w0}=0,2$ (кривая 2). Для остальных параметров, характеризующих систему, приняты следующие значения: $m = 0,3$, $p_0 = 6$ МПа, $T_e=293$ К, $T_0 = 293$ К, $k_0 = 1 \cdot 10^{-12}$ м², $G = 0,24$, $\lambda = 2$ Вт/(м·К), $\rho c = 2 \cdot 10^6$ Дж/(К·кг), $\mu_s = 2 \cdot 10^{-4}$ Па·с, $\mu_l = 2 \cdot 10^{-3}$ Па·с, $\beta_s = 3 \cdot 10^{-9}$ Па⁻¹, $\beta_l = 1 \cdot 10^{-9}$ Па⁻¹, $\rho_h = 1003$ кг/м³, $\rho_w = 1000$ кг/м³, $\rho_{0s} = 890$ кг/м³, $\rho_{0l} = 900$ кг/м³, $c_s = 1800$ Дж/(К·кг), $c_l = 1900$ Дж/(К·кг), $L_h = 4,1 \cdot 10^5$ Дж/кг.

Согласно рис. 2 с повышением массового расхода инъекции скорость движения границы фазовых переходов увеличивается. Это обусловлено тем, что в рассматриваемой задаче движение данной границы лимитируется скоростью вытеснения нефти жидким сероводородом, которая увеличивается с интенсивности закачки. Также видно, что с ростом исходной водонасыщенности скорость границы вытеснения увеличивается. Это обусловлено тем, что скорость вытеснения V_n прямо пропорциональна средней действительной скорости движения флюида v_i , которая связана со скоростью фильтрации u_i следующим соотношением:

$$v_i = u_i / m S_i \quad (i=s, l), \quad (11)$$

где величина скорости фильтрации u_i зависит от расхода инъекции.

Поскольку с ростом водонасыщенности второй области (и соответственно с ростом гидратонасыщенности первой области) величина насыщенности пор сероводородом и нефтью S_i уменьшается, то согласно (11) в этом случае при фиксированном массовом расходе (и соответственно скорости фильтрации) увеличивается средняя действительная скорость течения сероводорода и нефти.

Также рис. 2 показывает, что давление на фронте вытеснения нефти сероводородом увеличивается с ростом массового расхода инъекции, при чем тем быстрее, чем выше исходная водонасыщенность пористой среды. Это обусловлено тем, что увеличение расхода закачки соответствует увеличению давления на скважине и прилегающей к ней области пласта. При

этом чем больше водонасыщенность (и соответственно гидратонасыщенность) пористой среды, тем меньшая доля объема пор приходится на закачиваемый сероводород и тем большее давление на скважине необходимо создавать для поддержания данного расхода его закачки.

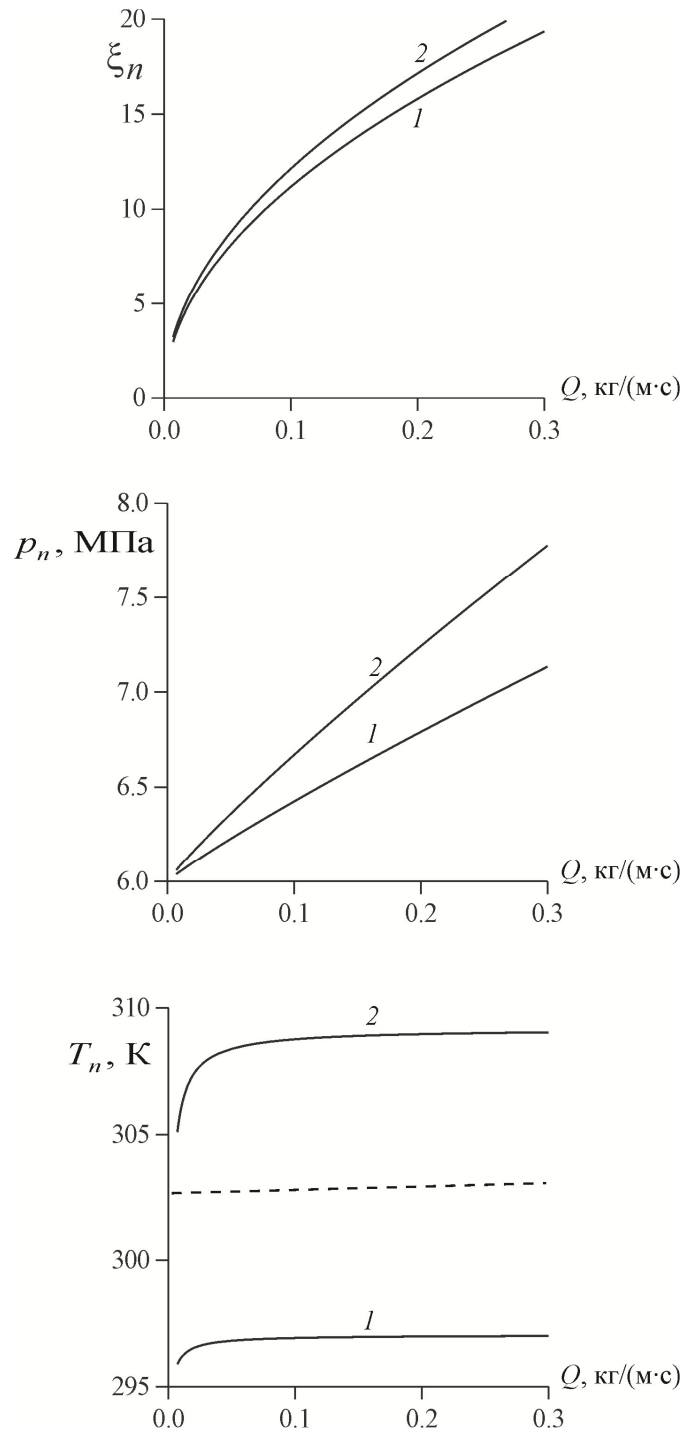


Рис. 2. Зависимость автомодельной координаты, давления и температуры фронта образования газогидрата от массового расхода инжекции при исходной водонасыщенности $S_{w0}=0,05$ (кривая 1) и $S_{w0}=0,2$ (кривая 2)

Кроме того, в соответствии с рис. 2 с увеличением расхода инъекции и величины начальной водонасыщенности пористой среды происходит повышение температуры на фронте гидратообразования. Это обусловлено тем, что гидратообразование сопровождается выделением скрытой теплоты фазовых переходов, а с повышением расхода закачки согласно рис. 2 происходит увеличение скорости движения границы фазовых переходов (т.е. интенсивности гидратообразования). При этом количество выделяющегося тепла прямо пропорционально исходной водонасыщенности пористой среды. Кроме того, поскольку часть тепла, выделяющегося на границе гидратообразования, отводится через стенки скважины, то с увеличением координаты фронта фазовых переходов происходит уменьшение интенсивности отвода тепла через стенки скважины. Указанные факторы согласно рис. 2 приводят к росту температуры на этой границе при увеличении расхода закачиваемого сероводорода и начальной водонасыщенности пористой среды.

Вследствие этого при достаточно больших значениях исходной водонасыщенности пористой среды температура на границе гидратообразования может превысить равновесную температуру разложения газогидрата сероводорода (штриховая линия), что будет соответствовать неполному переходу воды и закачиваемого жидкого сероводорода в газогидратное состояние.

Заключение. Построена математическая модель инъекции жидкого сероводорода в пористую среду, насыщенную нефтью и водой, сопровождающейся гидратообразованием. Установлено, что с повышением массового расхода инъекции и начальной водонасыщенности происходит увеличение координаты, давления и температуры границы образования газогидрата сероводорода.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Республики Башкортостан (проект 17-48-020123 p_a).

Список литературы

1. Machel H. G. Geological and hydrogeological evaluation of the Nisku Q-Pool in Alberta, Canada, for H₂S and/or CO₂ storage// Oil Gas Sci. Technol. 2005. Vol. 60. P. 51–65.
2. Numerical modeling of injection and mineral trapping of CO₂ with H₂S and SO₂ in a sandstone formation / T.Xu, J.A.Apps, K.Pruess and H.Yamamoto // Chemical Geology. 2007. Vol. 24. No 3-4. P. 319–346.
3. Бык С.Ш., Макогон Ю.Ф., Фомина В.И. Газовые гидраты. М.: Химия, 1980. 296 с.
4. Оценка возможности захоронения углекислого газа в криолитозоне Западной Сибири / А.Д.Дучков, Л.С.Соколова, Д.Е.Аюнов, М.Е.Пермяков // Криосфера Земли. 2009. Т. 13. № 4. С. 62–68.

5. Чувилин Е.М., Гурьева О.М. Экспериментальное изучение образования гидратов CO_2 в поровом пространстве промерзающих и мерзлых пород // Криосфера Земли. 2009. Т. 13. № 3. С. 70–79.

6. Хасанов М.К. Исследование режимов образования газогидратов в пористой среде, частично насыщенной льдом // Теплофизика и аэромеханика. 2015. Т. 22. № 2. С.255–266.

7. Шагапов В.Ш., Хасанов М.К., Мусакаев Н.Г. Образование газогидрата в пористом резервуаре, частично насыщенном водой, при инъекции холодного газа // Прикладная механика и техническая физика. 2008. Т. 49. № 3. С. 462–472.

8. Цыпкин Г.Г. Образование гидрата углекислого газа при его инъекции в истощенное месторождение углеводородов // Известия РАН. Механика жидкости и газа. 2014. № 6. С. 101–108.

9. Цыпкин Г.Г. Образование гидрата при инъекции жидкой двуокиси углерода в пласт, насыщенный метаном и водой // Известия РАН. МЖГ. 2016. № 5. С. 99–107.

10. Баренблатт Г.И., Ентов В.М., Рыжик В.М. Движение жидкостей и газов в природных пластах. М.: Недра, 1982. 211 с.

Хасанов Марат Камирович, канд. физ.-мат. наук, доц., hasanovmk@mail.ru, Россия, Стерлитамак, Стерлитамакский филиал Башкирского государственного университета

MATHEMATICAL MODEL OF INJECTION OF HYDROGEN SULFIDE TO POROUS MEDIUM, SATURATED OIL AND WATER

M.K. Khasanov

Numerical modeling of injection of liquid hydrogen sulfide into a porous medium saturated with oil and water is presented, accompanied by the formation of H_2S gas hydrate. Self-similar solutions are constructed for the case where the formation of a gas hydrate occurs on the frontal surface of oil displacement by hydrogen sulfide. The dependence of the coordinate, pressure, and temperature of the hydrate front on the mass injection rate and the initial water saturation of the porous medium is studied.

Key words: mathematical model, self-similar solution, porous medium, filtration, gas hydrates, hydrogen sulphide.

Khasanov Marat Kamirovich, candidate of physical and mathematical sciences, do-cent, hasanovmk@mail.ru, Russia, Sterlitamak, Sterlitamak Branch of the Bashkir State University

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЗИМНЕГО ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА

В.Р. Синюта, Л.В. Абрамова, Н.Ф. Орловская

*Рассмотрены основные физико-химические свойства зимнего дизельного топлива, их влияние на работу дизельного двигателя и топливной системы. Представлены результаты исследования зимнего дизельного топлива, его компонентов и прямогонных фракций, являющихся сырьем процесса гидроочистки и депарафинизации. Исследован углеводородный состав дизельных фракций и содержание в них *n*-парафинов, что позволит улучшить приемистость топлива к депрессорно-диспергирующим присадкам при их минимальном вовлечении и обеспечении стабильной работы двигателя и стабильности при холодном хранении.*

Ключевые слова: дизельное топливо, физико-химические свойства, дизельный двигатель, приемистость, углеводородный состав, присадки.

Дизельное топливо (далее ДТ) представляет собой нефтяную фракцию от 180 до 360 °С, легкие газойли каталитического и термического крекинга, коксования и гидрокрекинга. В работе [1] рассмотрены основные физико-химические свойства ДТ. К наиболее важным показателям качества топлив относятся воспламеняемость, испаряемость, вязкость, коррозионная активность, низкотемпературные и экологические свойства. Воспламеняемость характеризует способность ДТ к самовоспламенению в среде разогретого от адиабатического сжатия в цилиндре двигателя воздуха. По данным [1] положительное влияние на работу дизельного двигателя оказывают: - повышение степени сжатия; - увеличение числа оборотов коленчатого вала; - применение для изготовления блока цилиндров материала с низкой теплопроводностью; - применение топлив с оптимальной воспламеняемостью. Работу дизеля ухудшают повышение влажности воздуха и низкие температуры окружающего воздуха.

Мерой воспламеняемости ДТ принято считать цетановое число (ЦЧ). Цетановое число – показатель воспламеняемости ДТ, численно равный процентному содержанию цетана в смеси с α -метилнафталином, которая по самовоспламеняемости в стандартном двигателе эквивалентна испытываемому топливу. Испаряемость дизельных топлив определяет характер процесса сгорания ДТ. Она зависит от температуры и турбулентности движения воздуха в цилиндре, в качестве распыливания и испаряемости топлива. С улучшением качества распыливания и повышением температуры нагрева воздуха скорость испарения впрыскиваемого топлива возрастает. Время, которое отводится на испарение, в дизелях примерно в 10...15 раз меньше, чем в бензиновых двигателях, и составляет 0,6...2,0 мс. Тем не менее, в дизелях используют более тяжелые топлива с худшей испаряемостью, поскольку испарение осуществляется при высокой температуре в конце такта сжатия воздуха [1].

Испаряемость ДТ оценивается фракционным составом. На сгорание топлива более легкого фракционного состава расходуется меньше воздуха, при этом, за счет уменьшения времени необходимого для образования топливоздушная смеси, более полно протекают процессы смесеобразования. Облегчение фракционного состава топлива, например, при добавке к нему бензиновых фракций, может привести к повышению жесткости работы дизельного двигателя, определяемой скоростью нарастания давления на 1° поворота коленчатого вала, и ухудшению работы топливного насоса высокого давления [2]. Из-за повышенной испаряемости топлива к моменту самовоспламенения рабочей смеси в цилиндре двигателя накапливается большое количество паров, воспламенение которых приводит к резкому возрастанию давления. Температура выкипания 10 % топлива характеризует наличие легких фракций, которые определяют его пусковые свойства. Для нормального запуска холодного двигателя необходимо, чтобы температура выкипания 10 % топлива была не выше 140...160 °С. Температура выкипания 50 % топлива (средняя испаряемость) характеризует рабочие фракции топлива, которые обеспечивают прогрев, приемистость и устойчивость работы двигателя, а также плавность перехода с одного режима на другой. Для обеспечения нормальной работы двигателя эта точка должна лежать в пределах 250...280 °С. Полнота испарения топлива в двигателе характеризуется температурой выкипания 90 и 96 % топлива. При слишком высоких значениях этих температур хвостовые фракции не успевают испаряться, они остаются в жидкой фазе в виде капель и пленки, которые, стекая по стенкам цилиндра, приводят к повышенному нагарообразованию, разжижению масла и форсированному износу [1].

Влияние фракционного состава топлива для различных типов двигателей неодинаково. Двигатели с предкамерным и вихрекамерным смесеобразованием, вследствие наличия разогретых до высокой температуры стенок предкамеры и более благоприятных условий сгорания, менее чувствительны к фракционному составу топлива, чем двигатели с непосредственным впрыском. Испаряемость топлив из прямогонных соляровых фракций оптимизируется двумя точками фракционного состава: 50 и 90 % выкипания [3].

Вязкость – это внутреннее трение или сопротивление течению жидкости, которая определяется кинематической и динамической вязкостью. Кинематическая вязкость характеризуется текучестью жидкости при нормальных и высоких температурах. Динамическая вязкость характеризует текучесть смазочных материалов при низких температурах. Вязкость дизельного топлива регламентируется стандартами, так как ДТ выполняет, наряду с функцией топлива, одновременно функцию смазки и уплотнения насосов и форсунок. При утечке через неплотности подтекающее топливо догорает и образует на распылителях форсунок нагар [4]. От вязкости ДТ зависит износ плунжерных пар. Нижний предел вязкости топлива, при ко-

тором обеспечивается высокая смазывающая способность ДТ, зависит от конструктивных особенностей топливной аппаратуры и условий ее эксплуатации. Вязкость ДТ в пределах 1,8...7,0 мм²/с практически не влияет на износ плунжеров топливной аппаратуры современных быстроходных дизелей [5]. Вязкость для ДТ нормируется в достаточно широких пределах, что обусловлено различием углеводородного состава перерабатываемых на НПЗ промышленных смесей нефтей. Попытки ограничить вязкость топлива в узких пределах приведут к сокращению ресурсов его производства, так как потребуют снижения конца кипения топлива. На процессы испарения и смесеобразования оказывают влияние также поверхностное натяжение и давление насыщенных паров, которые зависят от углеводородного и фракционного состава топлива [3].

Коррозионная активность характеризует способность топлива вызывать коррозию деталей двигателя, топливной аппаратуры, трубопроводов, резервуаров. Она зависит от содержания в топливе коррозионно-агрессивных кислородных и сераорганических соединений: нафтеновых кислот, серы, сероводорода и меркаптанов. Экологические свойства характеризуются пожароопасностью. Пожароопасность ДТ оценивают по температуре вспышки паров в закрытом тигле. Для всех марок она нормируется не ниже 30...35 °С. Низкотемпературные свойства определяются входящими в состав ДТ высокомолекулярными парафиновыми углеводородами нормального строения, имеющими довольно высокие температуры плавления. При понижении температуры эти углеводороды выпадают из топлива в виде кристаллов различной формы, топливо мутнеет [1].

На приемистость ДТ к депрессорно-диспергирующим присадкам значительное влияние оказывает состав и количество нормальных парафиновых углеводородов. Они разбиты на группы согласно своему назначению. Многими авторами отмечено, что максимальная депрессия температуры застывания и предельной температуры фильтрации достигается в дизельных топливах, отличающихся высоким содержанием нормальных углеводородов. При этом следует учитывать не только их суммарное содержание, но и состав.

Предполагается [6], что чем шире фракционный состав топлива, тем больше его восприимчивость к депрессорной присадке. Это объясняется тем, что кристаллизация n-парафиновых углеводородов из топлива «широкого» фракционного состава происходит постепенно и присадка успевает их блокировать, в то время как в топливе «узкого» фракционного состава скорость роста кристаллов выше, вследствие чего эффективность присадки снижается. Для обеспечения удовлетворительной восприимчивости топлив к депрессорной присадке были предложены следующие требования к качеству базового дизельного топлива [6]:

1. Интервал температур выкипания 90...20 % – более 100 °С;
2. Интервал температур К.К. топлива – 90 % выкипания топлива – 25...30 °С;

3. Содержание кристаллизующихся углеводов, выделяющихся при температуре на 10 °С ниже температуры помутнения – менее 3 %.

Однако такая классификация не позволяла получать надежные результаты, так как не учитывала значение конца перегонки топлива. Поэтому позднее было предложено [7] дифференцировать топлива не только по фракционному составу, но и принимать во внимание конец перегонки топлива (ГОСТ 2177): не выше 350, 370, 380 °С.

Исследованиями [8,9] было показано, что летние дизельные топлива, характеризующиеся большим соотношением моноциклических ароматических углеводов к сумме би- и полициклических, отличаются лучшей восприимчивостью к депрессору, по сравнению с топливами с меньшей величиной этого соотношения (1,9-3,4). Положительное действие моноциклических ароматических углеводов, по-видимому, связано с тем, что они влияют на растворимость присадки в топливах. На эффективность действия депрессорной присадки определенное влияние оказывают смолы. В работе [10] исследовано влияние отдельных компонентов смол при различных концентрациях n-парафиновых углеводов и установлено, что наиболее полярные смолы, извлеченные ацетоном, повышают активность присадки, а менее полярные смолы, извлеченные бензолом и четыреххлористым углеродом, снижают ее. Это связано с лучшей растворимостью присадки в полярных средах, когда молекулы полимера способны принимать активную форму.

В результате комплекса исследований [8-12] влияния гетероатомных соединений на низкотемпературные свойства топлив было установлено, что увеличение содержания серы в дизельном топливе с 0,1 до 1,0 % практически не оказало воздействия на эффективность депрессорных присадок на основе сополимера этилена с винилацетатом и полиметакрилатов.

Чистота топлив оценивается коэффициентом фильтруемости. Он определяет эффективность и надёжность работы двигателя, особенно топливной аппаратуры [13].

В качестве загрязнителей топлив, влияющих на коэффициент фильтруемости, рассматриваются:

- вода;
- механические примеси;
- микроорганизмы;
- поверхностно-активные вещества мыл нафтеновых кислот;
- смолистые соединения.

В товарных дизельных топливах содержится, в основном, растворённая вода 0,002...0,008 % (20...80 мг/кг), которая не влияет на коэффициент фильтруемости. Нерастворённая в топливе вода 0,01 % и более (> 100 мг/кг), приводит к повышению этого показателя. Однако влияние этого фактора неоднозначно. Присутствие в топливе поверхностно-активных веществ мыл нафтеновых кислот, смолистых соединений усугубляет отрицательное воздействие воды на фильтруемость топлив [13].

Нами было проведено исследование образцов дизельных фракций (табл. 1) производства АО «АНПЗ ВНК».

Таблица 1

Качество исходных компонентов для получения топлива

№ п/п	Наименование компонента	Показатели качества							
		Плотность при 15 °С, кг/м ³	Фракционный состав, °С				Темп-ра вспышки в з/т, °С	Темп-ра помутнения, °С	
			Н.К.	10 %	50 %	90 %			95 %
1	Образец 1	808,4	167	178	196	264	293	52	Минус 37
2	Образец 2	847,7	192	227	268	317	332	59	Минус 29

В ходе проведённых исследований установлено следующее:

1. Компоненты гидроочищенной дизельной фракции, 2 и 3 стриппинги, имеют узкий фракционный состав, т.е. диапазон выкипания (90...20 %) топлив равен 66 и 36 °С, хвостовая фракция (К.К.-90 %) составляет 16 и 7 °С соответственно (табл. 2). Кроме того, доля высокозастиывающих н-парафинов в области C₁₈-C₂₂ и C₂₃-C_{конец цепи} в тяжёлом 3 стриппинге составляет 21,35 % масс из общего количества, равного 24,14 % масс (рис. 1). Это свидетельствует об ограниченной возможности вовлечения данного компонента в состав дизельного топлива, независимо от марки топлива.

2. Как показали исследования, смешение двух образцов расширяет фракционный состав дизельного топлива и улучшает приемистость базы к присадке: значение предела выкипания 90 % точки минус значение предела выкипания 20 % точки (90...20 %) увеличивается с 79 до 114 °С, хвостовая фракция значения конца кипения минус значение предела выкипания 90 % точки (К.К.-90 %) также увеличивается с 20-25 до 28 °С.

Таблица 2

Качество образцов прямогонных компонентов для производства дизельного топлива Евро, класс 2

Показатели качества	Компоненты сырья для фракции г/о дизельной	
	2 стр.	3 стр.
Название образцов	2 стр.	3 стр.
Плотность при 15 °С, кг/м ³	845,1	873,7
Температура помутнения, °С	-22	+7
Предельная температура фильтруемости, °С	-23	6
Фракционный состав, Н.К., °С	190	221
90...20 %, °С	66	36

Показатели качества	Компоненты сырья для фракции г/о дизельной	
К.К.-90 %, °С	17	7
Содержание н-парафинов, % масс*	20,98	24,14
Длина углеводородной цепи*	C ₇ -C ₂₃	C ₇ -C ₂₈
C _{начало} -C ₁₁ *	1,37	0,24
C ₁₂ -C ₁₇ *	14,65	2,53
C ₁₈ -C ₂₂ *	4,92	17,8
C ₂₃ -C _{конец цепи} *	0,02	3,55

*Данные фирмы «Клариант»

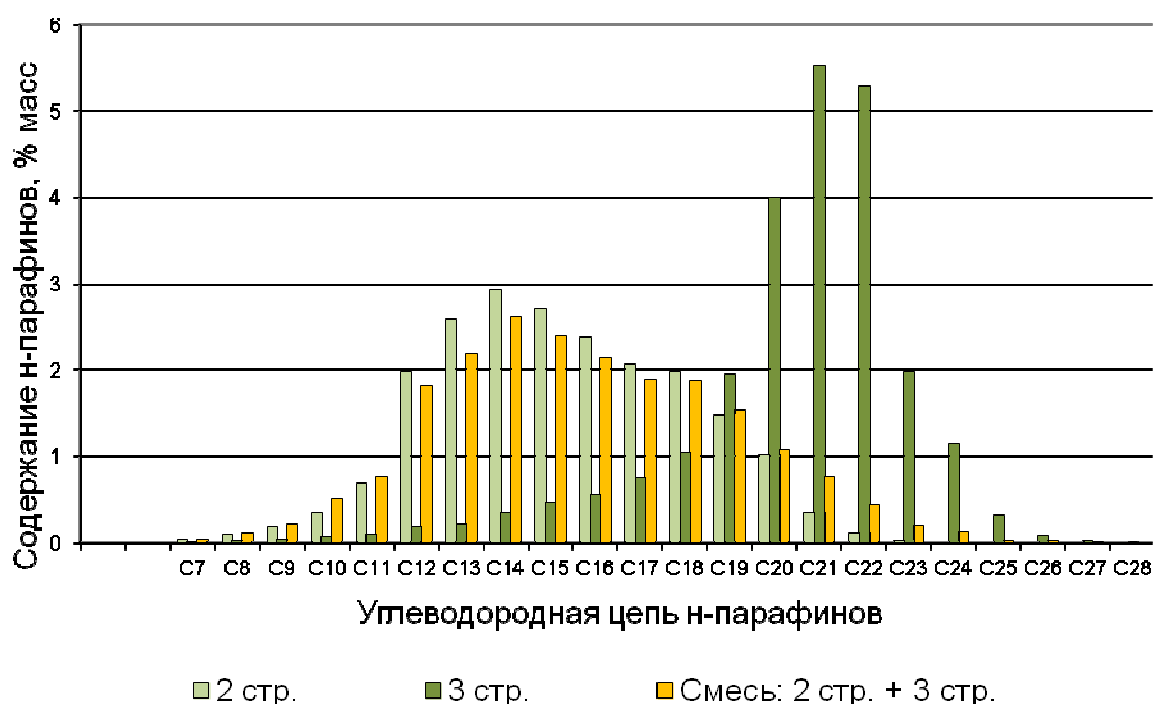


Рис. 1. Распределение н-парафинов компонентов 2 и 3 стриппингов

3. Оптимальное соотношение доли образца 1 в смесевом топливе устанавливает оптимальное количество высокозастывающих н-парафинов в области C₁₈-C₂₂, которое составляет 2,69 %. Оптимальное соотношение н-парафинов в и показатели качества, соответствующие данному топливу (табл. 3).

Ухудшение приемистости дизельного топлива к депрессорно-диспергирующей присадке проявляется при увеличении содержания высокозастывающих н-парафинов в области C₁₈-C₂₂ более 2,69 %, уменьшении доли хвостовых н-парафинов в области C₂₃-C_{конец цепи} менее 0,49 % масс (табл. 3, рис. 3).

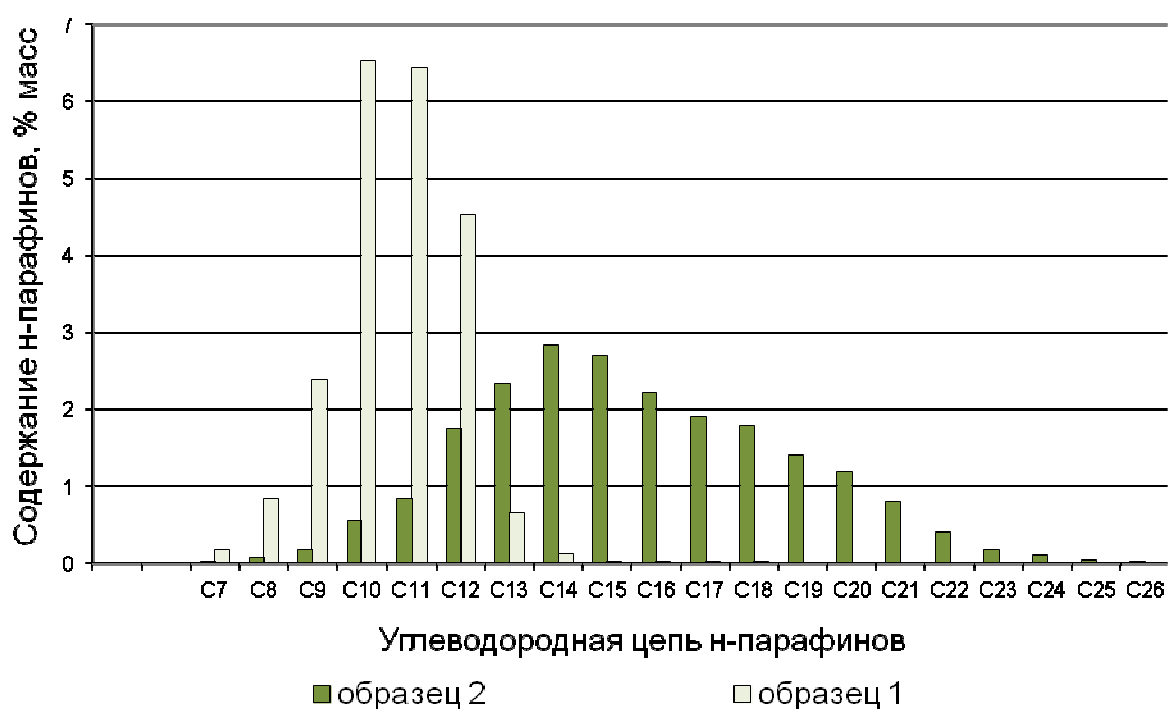


Рис. 2. Молекулярно-массовое распределение n-парафинов компонентов ДТ (образцы 1 и 2) для построения модели

Таблица 3

Оптимальное соотношение n-парафинов в модели и показатели качества, соответствующие данному топливу

Показатели качества	Характеристики модельного топлива
Фракционный состав, °С	
Н.К.	157
10 %	194
20 %	206
50 %	248
90 %	322
95 %	341
К.К.	350
90...20 %, °С	116
К.К.-90 %, °С	28
Содержание n-парафинов, % масс: Общее	18,39
Длина углеводородной цепи	C ₇ -C ₂₉
C ₇	0,10
C ₈	0,28

Показатели качества	Характеристики модельного топлива
C ₉	0,69
C ₁₀	2,02
C ₁₁	2,28
C ₁₂	2,70
C ₁₃	2,17
C ₁₄	1,86
C ₁₅	1,40
C ₁₆	1,26
C ₁₇	1,08
C ₁₈	0,92
C ₁₉	0,78
C ₂₀	0,60
C ₂₁	0,43
C ₂₂	0,23
C ₂₃	0,16
C ₂₄	0,13
C ₂₅	0,12
C ₂₆	0,05
C ₂₇	0,03
C ₂₈	0,01
C ₂₉	0,01
C _{начало} -C ₁₁	7,97
C ₁₂ -C ₁₇	9,94
C ₁₈ -C ₂₂	2,69
C ₂₃ -C _{конеццепи}	0,49

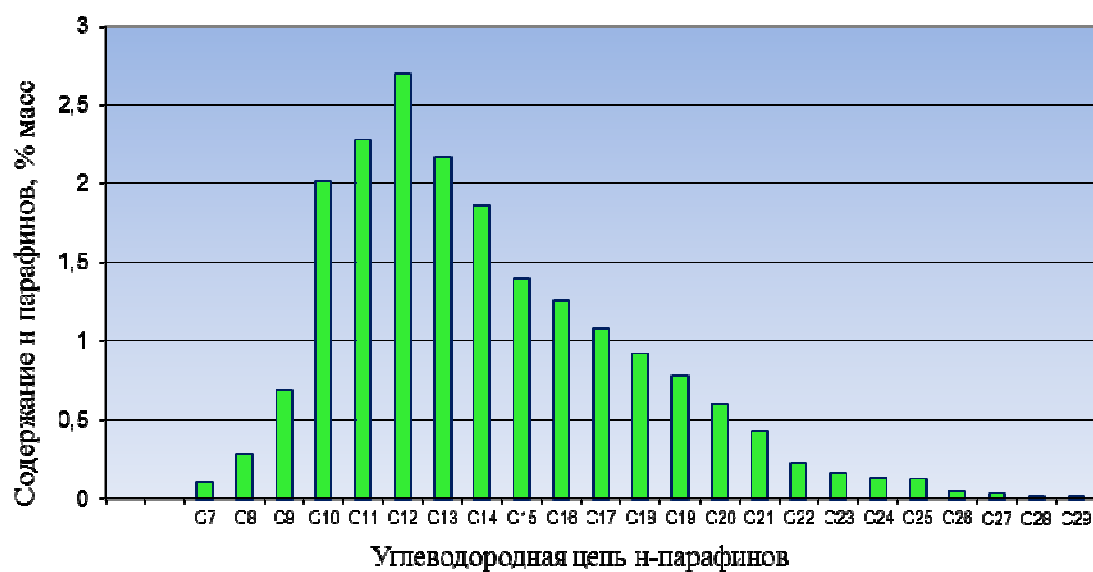


Рис. 3. Модельное ДТ с оптимальным соотношением n-парафинов

Оптимальное содержание н-парафинов позволит улучшить приемистость топлива к ДДП при минимальном вовлечении последней и обеспечении стабильной работы двигателя и стабильности при холодном хранении при вовлечении ДДП 150 г/т и менее.

Список литературы

1. Иовлева Е.Л., Лебедев М.П. Получение низкозастывающих дизельных топлив на примере талаканской нефти: дис. ... канд. техн. наук. Якутск. 2016. С. 14-18.
2. Гуреев А.А., Азев В.С., Камфер Г.М. Топлива для дизелей. Свойства и применение. М.: Химия. 1993. 330 с.
3. Лыткин А.С. Повышение качества дизельных топлив пожарных и аварийно-спасательных автомобилей в чрезвычайных ситуациях для условий Крайнего Севера: дис. ... канд. техн. наук. СПб, 2004. 164 с.
4. Пучков Н.Г. Дизельные топлива Государственное научно-техническое издательство нефтяной и горно-топливной литературы. М., 1953. 194 с.
5. Барамзин С.В. Как предотвратить потери нефтепродуктов. М., 1976. 80 с.
6. Веретенникова Т.Н., Николаева В.Г., Энглин Б.А. Влияние сераорганических соединений на низкотемпературные свойства дизельных топлив и их восприимчивость к присадкам // Моторные, реактивные топлива: Сб. тр. Всесоюзного НИИ по переработке нефти 1977. №20. С. 134-139.
7. Чертков Я.Б., Спиркин В.Г. Сернистые и кислородные соединения дистиллятов. М.: Химия 1971. 312 с.
8. Веретенникова Т.Н. Исследование и улучшение низкотемпературных свойств дизельных и печных топлив с использованием депрессорных присадок: дис. ... канд. техн. наук. М., 1980. 252 с.
9. Действие депрессорной присадки ВЭС-238 на дизельные топлива различного углеводородного состава / Г.Г. Краснянская, В.А. Крюнина, С.Л. Любимова и др. // Химия и технология топлив и масел. 1981. №9. С.12-20.
10. Лысенко Л.З. Сборник научных трудов МИНХ и ГП. М.: МИНХ и ГП 1979. №148. С. 37-40.
11. Лебедев С.Р., Березин Р.М., Чертков Я.Б. О депрессорных присадках к дизельному топливу // Химия и технология топлив и масел. 1975. №10. С. 52-60.
12. Гуреев А.А., Лебедев С.Р., Герасимова Н.Г. Многофункциональный характер действия депрессорных присадок в дизельных топливах // Химия и технология топлив и масел, 1976. №6. С. 28-29.

13. Абдрахманов Н.Х. Разработка гидродинамического кавитационного аппарата для смешения систем жидкость-жидкость: дис. ... канд. техн. наук. Уфа. 2000. 103 с.

Синюта Василья Ринатовна, асп., vasilia.giliazova@gmail.com, Россия, Красноярск, Сибирский Федеральный Университет,

Абрамова Людмила Валентиновна, ведущий технический специалист, vasilia.giliazova@gmail.com, Россия, Москва, фирма «Кларриант»,

Орловская Нина Федоровна, проф., togsming@mail.ru, Россия, Красноярск, Сибирский Федеральный Университет

PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF WINTER DIESEL FUEL

V.R. Siniuta, L.V. Abramova, N.F. Orlovskaya

In this article, the main physicochemical properties of winter diesel fuel are considered. Their influence on the operation of the diesel engine and the fuel system are discussed. Studies of winter diesel fuel, its components and straight-run fractions, which are the raw materials of the hydrotreating and dewaxing process, are presented. Investigation of the hydrocarbon composition of diesel fractions and the content of n-alkanes, which will improve the fuel capacity to depressor-dispersant additives with their minimal involvement and ensure stable operation of the engine and stability during cold storage are presented.

Key words: diesel fuel, physical and chemical properties, diesel engine, injectivity, hydrocarbon composition, additives.

Siniuta Vasilia Rinatovna, postgraduate, vasilia.giliazova@gmail.com, Russia, Krasnoyarsk, Siberian Federal University,

Abramova Ludmila Valentinovna, senior technical specialist, vasilia.giliazova@gmail.com, Moscow, Russia, "Clariant",

Orlovskaya Nina Fedorovna, professor, togsming@mail.ru, Russia, Krasnoyarsk, Siberian Federal University

ОБЗОР И ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ОФСЕТНЫХ ПЕЧАТНЫХ ФОРМ

Д.Саек, О.А. Карташева, Ю.С. Андреев

Рассмотрены методы оценки интегральных показателей качества офсетных печатных форм как основы определения области использования конкретного типа формных пластин и выбора и контроля режимов изготовления печатных форм. Представлены методика оценки и результаты исследования интегральных показателей офсетных печатных форм с применением ФПМ системы «формовыводное устройство – формная пластина».

Ключевые слова: офсетная печатная форма, интегральные показатели качества, функция передачи модуляции.

В настоящее время для изготовления офсетных печатных форм используются разнообразные формные технологии, требующие применения различных формных пластин и формовыводного оборудования. Это усложняет выбор, стоящий перед технологом или организатором производства, который позволил бы учесть все аспекты их применения для выпуска конкретной печатной продукции.

Для оптимального выбора необходимо знать и учитывать свойства, определяющие возможности формных пластин и качество изготовленных на них печатных форм. Для этого требуются методы, учитывающие не только свойства самих формных пластин, но и их технологические возможности в совокупности с используемым для изготовления печатных форм формовыводным оборудованием. Эти свойства можно назвать интегральными, так как они оценивают качество печатных форм по целому ряду параметров. К ним следует отнести: градацию изображения и его диапазон, графическую точность воспроизведения негативного и позитивного изображений, размеры минимально воспроизводимых штрихов и просветов, в том числе различно ориентированных относительно направления записи и т.д.

В современных аналоговых и цифровых способах записи печатных форм различными фирмами–производителями формных пластин и формовыводного оборудования предлагаются тест-объекты. Следует заметить, что обычно фирмы, разрабатывающие формные технологии, для оценки собственных систем применяют свои методы и создают тест-объекты, включающие набор элементов, которые позволяют определять либо многие из свойств, либо часть из них. Все это создает определенные трудности при оценке формных технологий и возможное несоответствие в ряде случаев неприятные результаты такой оценки, если формные пластины и формовыводное оборудование, разработанные одними фирмами, оцениваются по методикам других фирм.

Целью работы является аналитический обзор методов оценки интегральных показателей офсетных печатных форм и разработка единой методики, основанной на фундаментальных свойствах систем воспроизведения.

Аналитическая часть. Качество офсетных печатных форм оценивается с помощью ряда репродукционно-графических показателей. К ним относятся разрешающая, выделяющая способности и градационная передача растрового изображения [1]. Эти показатели характеризуют качество печатных форм и позволяют оценивать совокупность их технологических возможностей по воспроизведению растрового изображения и штриховых деталей, в том числе шрифта.

Показатели качества необходимы для определения области использования конкретного типа формных пластин для выпуска печатной продукции, при разработке или совершенствовании формных пластин и при подборе режимов изготовления печатных форм на формных пластинах и последующим контроле этих режимов.

Показатели печатных форм определяются с помощью тест-объектов. Тест-объекты находят применение в аналоговых и цифровых технологиях формных процессов. В широко применяемых цифровых технологиях поэлементной записи офсетных печатных форм тест-объекты представлены в цифровом виде и являются средством для визуального и инструментального контроля. Они содержат ряд фрагментов различного целевого назначения:

– фрагмент с постоянной информацией о самом тест-объекте и переменной информацией с текущими данными о конкретных режимах записи;

– фрагменты, содержащие различные периодические структуры (одномерные и двухмерные) для визуального контроля воспроизведения мелких элементов изображения, необходимые для настройки устройства;

– фрагменты, позволяющие оценивать предельные возможности системы «формовыводное устройство – формная пластина», включающие штрихи различных размеров и ориентации, растровые поля для оценки градационной передачи или интервала градаций.

Широко применяется в формных процессах плоской офсетной печати тест-объект *Ugra-Fogra Digita IPlate Control Wedge* (рис.1).

Подобные тест-объекты разработаны и основными фирмами-производителями формовыводных устройств, например, фирмами *Agfa, Creo, Kodak* и др. для использования их при контроле записи в формовыводных устройствах этих фирм. Они адаптированы под определенный тип формных пластин. На рис. 2 представлены тест-объекты этих фирм.

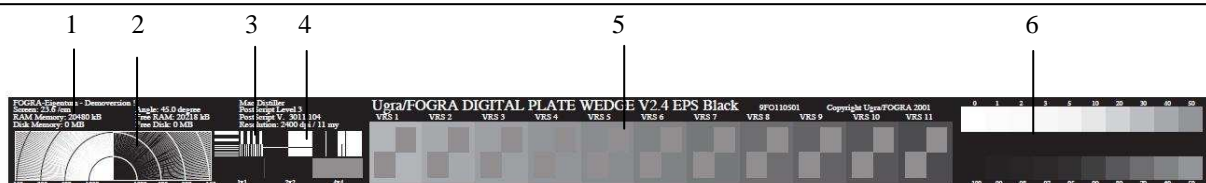


Рис.1. Структура тест-объекта Ugra-Fogra Digital PCW:
 1 – информационный фрагмент, 2 – фрагмент для настройки устройства контроля разрешения записи, 3 – фрагмент для контроля воспроизведения штриховых деталей, 4 – фрагмент для визуального контроля экспозиции; 5 – фрагмент для контроля экспозиции; 6 – фрагмент для контроля воспроизведения градаций тонов изображения

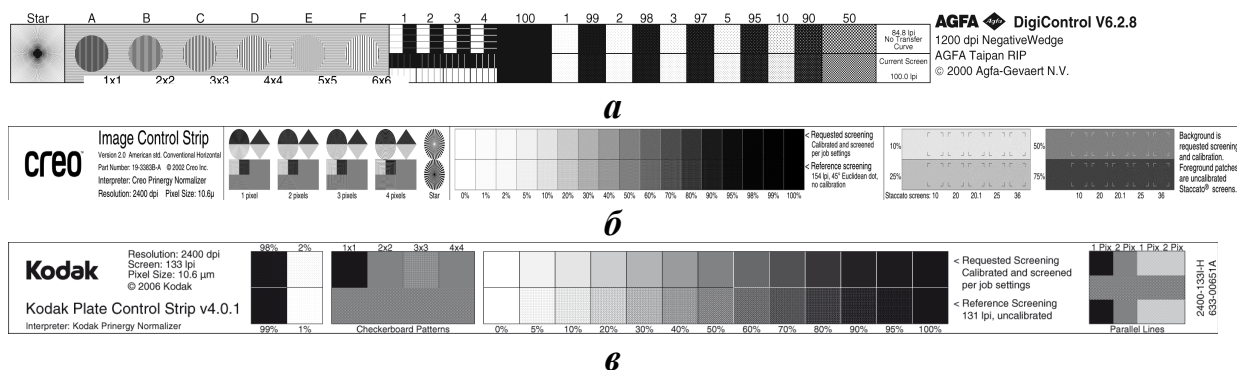


Рис. 2. Структура тест-объектов: а – Agfa Digital Control Wedge; б – Creo Image Control Strip; в – Kodak Plate Control Strip

Комплекты фрагментов различных тест-объектов, предназначенные для оценки показателей печатных форм, часто отличаются друг от друга. Так, тест-объект фирмы *Agfa* позволяет определить только интервал градаций, а тест-объект фирм *Creo*, как и тест-объект *Ugra-Fogra*, – относительные площади растровых точек для растровых структур различной формы, включая структуру для стохастического растрирования (тест-объект фирмы *Creo*). Для оценки воспроизведения штриховых деталей, все описанные тест-объекты содержат пиксельное представление и состоят из штрихов размером от одного до четырех пикселей, поэтому и размеры для различного разрешения записи изменяются и, следовательно, оценивают совокупность свойств печатной формы и системы записи.

Таким образом, приведенные тест-объекты содержат штриховые детали (в ряде случаев и шрифт) и растровые поля. По ним оценивают размеры минимально воспроизводимого шрифта и штриховых деталей. По измерениям относительных площадей растровых точек $S_{отн}$ или во всем интервале градаций, либо в светах и тенях изображения возможно построить градационные характеристики (ГХ) или определить интервал воспроизводимых градаций.

Следует отметить многообразие тест-объектов и характерные для каждого производителя подходы к набору однотипных фрагментов. Поэтому оценка показателей печатных форм, изготовленных на одних и тех же типах формных пластин, но на различных формовыводных устройствах, оснащенных тест-объектами различного типа, затрудняет анализ и сравнение этих показателей.

Неопределенность при оценке перечисленных выше показателей не дает полного представления о качестве воспроизведения деталей изображения различных размеров, а это важно и крайне необходимо для выбора формных пластин при решении конкретных задач полиграфического воспроизведения независимо от типа используемого формовыводного устройства. Поэтому требуется универсальная характеристика, определяющая воспроизведение деталей мелких размеров. Такой характеристикой может быть функция передачи модуляции – ФПМ [2]. Она характеризует зависимость воспроизведенного сигнала от его частоты и в скрытом виде содержит характеристику воспроизведения деталей различных размеров и, следовательно, является основой тех показателей, которые оцениваются с помощью тест-объектов.

При оценке ФПМ для формных пластин существенным является вопрос о методе ее определения. Использовать для определения ФПМ стандартный метод [2] невозможно из-за наличия непрозрачной подложки формной пластины. Удовлетворяет требованиям метод [3], основанный на построении краевой функции. Краевая функция оценивается измерением изменения размеров воспроизводимых деталей изображения линейчатой структуры с изменением экспозиции. Затем краевая функция пересчитывается в ФПМ по известным соотношениям [2].

Экспериментальные результаты. ФПМ для оценки показателей качества офсетных формных пластин первоначально была предложена для светочувствительных пластин с копировальными слоями [3]. Этот показатель применялся для сравнения различных типов формных пластин [4-6]. Позже ФПМ стала использоваться не только для сравнения светочувствительных формных пластин, используемых в аналоговых, а затем и цифровых технологиях формных процессов [7-8], но также для оценки качества воспроизведения штриховых деталей [9] в системе «формовыводное устройство – формная пластина». Эти исследования показали, что результаты оценки ФПМ и результаты, полученные с применением тест-объектов, практически одинаковы [9]. Они характеризуют полученные закономерности при воспроизведении на печатной форме штриховых и растровых изображений с элементами различных размеров. Поэтому ФПМ может использоваться как общий показатель для сравнения всех формных пластин и систем для записи печатных форм. Этот показатель в полной мере можно отнести к интегральным, поскольку он характеризует воспроизведение деталей изображения не только минимальных размеров, но и других размеров из заданного диапазона пространственных частот.

Обычно ФПМ связывают с рассеянием излучения. Однако, в формных процессах в настоящее время широко применяются термочувствительные формные пластины. Поэтому целесообразно оценить, в какой мере ФПМ может быть применима и в этом случае. Можно предположить, что размытие деталей изображения, возникающее за счет распределения тепла по ее подложке можно также оценить с помощью ФПМ. Известно, что в термочувствительных слоях размытие деталей изображения под действием ИК-излучения возникает из-за нагревания приемного слоя формной пластины вокруг зоны локального воздействия лазерного излучения. В результате процессы, приводящие к формированию деталей изображения, протекают на большем по площади участке, что и сопровождается изменением размеров этих деталей по сравнению с их номинальными размерами. Поэтому оценку ФПМ термочувствительной формной пластины в системе записи изображения можно проводить аналогично определению ФПМ в системе «формовыводное устройство – формная пластина». Это осуществлено в работе [10], в которой определяется ФПМ системы цифровой записи на термочувствительную формную пластину FujiFilmLH-PCF. На рис. 3, взятом из цитируемой работы, представлены ФПМ, полученные путем оценки воспроизведения деталей изображения, ориентированных при записи в формовыводном устройстве по направлению записи (строчная развертка) и перпендикулярно ему (кадровая развертка).

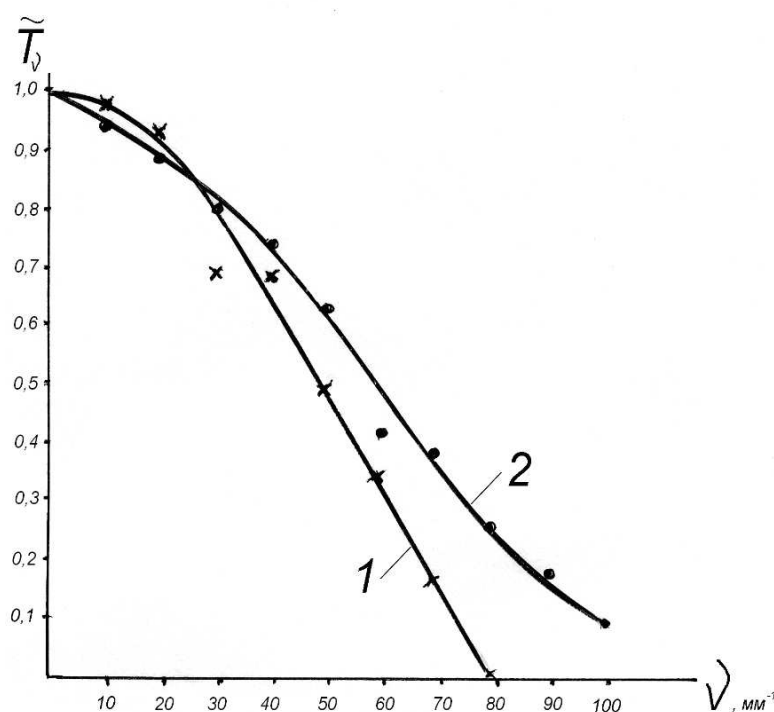


Рис. 3. ФПМ системы «формовыводное устройство – формная пластина»: 1 – по направлению записи; 2 – перпендикулярно направлению записи

Результаты показывают, что детали размером более 20 мкм (пространственная частота линейчатой структуры ν равна 25 мм^{-1}), лучше воспроизводятся, если они расположены по направлению записи. Это следует из более высоких значений ν для кривой 1 в диапазоне частот до 25 мм^{-1} . Детали меньших размеров вплоть до размера в 5 мкм (пространственная частота ν равна 100 мм^{-1}) воспроизводятся лучше, наоборот, когда они ориентированы перпендикулярно направлению записи – кривая 2 выше кривой 1. Полученные результаты очевидно связаны не только со свойствами используемой формной пластины, но и с особенностями формирования изображения на применяемом для записи формовыводном устройстве фирмы Creo марки Trendsetter 800 Quantum при позитивной записи с разрешением 2540 dpi. Поэтому в продолжение исследований [11] на печатной форме, полученной на том же формовыводном устройстве и на той же формной пластине, было оценено воспроизведение штриховых деталей минимальных размеров. Режимы записи: скорость вращения барабана в формовыводном устройстве и плотность энергии, получаемой приемным слоем формной пластины, были подобраны при тестировании используемой формной пластины. Оценивалось воспроизведение штриховых деталей различных размеров. На рис. 4 представлены микрофотографии штриховых деталей (штрихов и просветов) размером 10 мкм, различно ориентированных при записи.

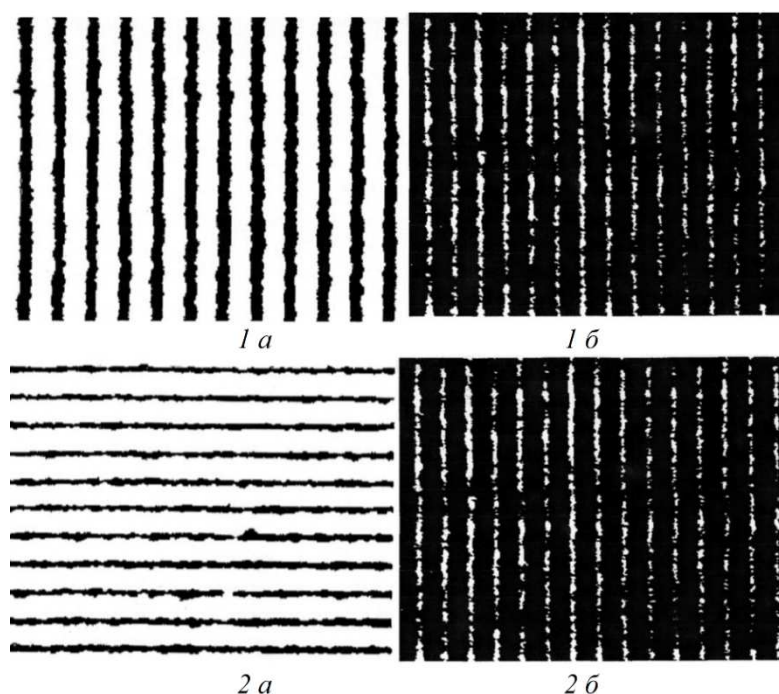


Рис. 4. Микрофотографии штриховых деталей размером 10 мкм:

а – штрихи, б – просветы:

1 – по направлению записи (строчная развертка);

2 – перпендикулярно направлению записи (кадровая развертка)

Неопределенность формы штрихов, размытие их краев, прерывистость самой детали влияют на величину искажений и усложняют их оценку. Однако результаты оценки усредненных размеров штриховых деталей различных размеров показывают, что штрихи, расположенные при записи в двух взаимно перпендикулярных направлениях, воспроизводятся с различными искажениями. Штрихи размером больше 15 мкм, если они ориентированы по направлению записи, воспроизводятся с меньшими искажениями, чем в случае их расположения при записи перпендикулярно направлению записи. Штрихи размером 10 мкм и меньше воспроизводятся с меньшими искажениями при их ориентации перпендикулярно направлению записи. Причиной зависимости качества воспроизведения в изображении деталей различных размеров от их ориентации при записи, возможно, является не только их размер, но и конфигурация сформированной зоны воздействия излучения и характер распространения плотности энергии в дискретном элементе при кадровой и строчной развертке [12, 13]. Это подтверждают результаты, полученные путем определения ФПМ. Таким образом, ФПМ может характеризовать воспроизведение деталей изображения и на термочувствительных формных пластинах. Значимым является и факт проведения коррекции зоны размытия, если она осуществляется фирмой при разработке формовыводного устройства для формных пластин собственного производства. Использование для записи формных пластин другого типа и/или с другим принципом формирования печатающих элементов, по-видимому, требует изменения величины требуемой при записи плотности энергии или другой коррекции зоны размытия. В этом смысле целесообразным для производителей формовыводного оборудования является использование для записи печатных форм того типа формных пластин, для которых была проведена коррекция зоны воздействия излучения. Это позволит учесть характер формирования зоны размытия в слоях различного типа. Если в формовыводном устройстве не предусмотрена возможность коррекции в процессе записи, то выбор режимов записи должен осуществляться для каждой марки формной пластины, а также необходимо учитывать принцип формирования изображения на формной пластине. Незаменимым методом оценки показателей печатных форм в этом случае и является такой интегральный показатель, как ФПМ, позволяющий осуществлять выбор формовыводного оборудования, сочетая его с конкретным типом формных пластин.

Заключение. Представленная в работе методика оценки интегральных показателей качества офсетных печатных форм является базовой и основана на определении ФПМ системы «формовыводное устройство – формная пластина».

Применение такой методики показывает возможность единого подхода к оценке качества печатных форм и позволяет решать конкретные задачи выбора формных пластин для записи на том или ином формовыводном устройстве, не допуская различий между реальными возможностями

формных пластин и их уровнем, достигнутом в условиях практического использования. Это связано с тем, что в ряде случаев заявленные производителем технологические возможности формных пластин не соответствуют их показателям качества по воспроизведению растровых и штриховых изображений. Причиной этого является тот факт, что подбор режимов записи на формную пластину осуществляется, как это рекомендует их производитель, ориентируясь в основном на ее чувствительность. При использовании чувствительности в качестве основного критерия определения оптимальных режимов записи не принимаются во внимание особенности воспроизведения различных по размеру элементов изображения.

Применение метода оценки интегральных показателей офсетных печатных форм сочетает в себе определение ФПМ путем построения краевой функции при изменении экспозиции и позволяет использовать ее для оценки качества печатных форм, записанных при различной мощности записывающей головки формовыводного устройства или скорости вращения барабана при записи. При необходимости она может быть дополнена оценкой показателей печатных форм с помощью тест-объектов.

Список литературы

1. Полянский Н.Н., Карташева О.А., Надирова Е.Б. Технология формных процессов: учебник для вузов / под ред. Н.Н. Полянского; М-во образования и науки РФ; Федеральное агентство по образованию. М.: МГУП, 2007. 366 с.
2. Фризер Х. Фотографическая регистрация информации. М.: Мир, 1978. 670 с.
3. Метод определения функции передачи модуляции монометаллических формных пластин, его возможности и применение / О.А. Карташева, Ю.С. Андреев, Е.А. Анисимова, С.Е. Човган // Материалы Юбилей науч-техн. конф. «70 лет МПИ-МГАП-МГУП». 2000. № 1. С. 78-80.
4. Андреев Ю.С., Карташева О.А. Определение качества монометаллических печатных форм // Полиграфия. 1998. № 2. С.54.
5. Андреев Ю.С., Карташева О.А., Бертова М.Н. К вопросу о выборе монометаллических формных пластин с копировальными слоями // Вестник МГУП. 2006. № 1. С.7-9.
6. Карташева О.А., Андреев Ю.С. Сравнительный анализ различных типов монометаллических формных пластин // Технология и исследования полиграфических процессов. 2001. № 48. С.48-50.
7. Карташева О.А., Саек Д. Сравнительная оценка светочувствительных офсетных формных пластин на основе анализа их показателей // Innovations of publishing, printing and multimedia technologies` 2017. Kaunas, 2017. С. 56-61.

8. Карташева О.А. Офсетные формные пластины для цифровых технологий и их возможности в условиях реального использования // Вестник МГУП. 2010. № 6, С. 145-150.

9. Сравнительная оценка воспроизведения штриховых деталей изображения на светочувствительных формных пластинах / О.А. Карташева, Е.М. Лемко, Т.В. Газина, Е.Ю. Никулина // Вестник МГУП. 2009. № 3. С. 159-161.

10. Арутюнова С.А., Карташева О.А., Саек Д. Оценка функции передачи модуляции системы цифровой записи офсетных печатных форм // Innovations of publishing, printing and multimedia technologies` 2009. Kaunas, 2009. С. 14-18.

11. Влияние режимов записи на качество изображения в цифровой термальном технологии изготовления офсетных печатных форм / С.А. Арутюнова, Г.А. Еремеев, О.А. Карташева, М.В. Кондрашова, Д. Саек // Вестник МГУП. 2009. № 8. С. 92-97.

12. Севрюгин В.Р. Система структурометрии процесса поэлементной записи. Пространственные характеристики воспроизведения // Известия высших учебных заведений. Проблемы полиграфии и издательского дела. 2012. № 4. С. 46-59.

13. Севрюгин В.Р. Краевые функции процессов поэлементной записи // Известия высших учебных заведений. Проблемы полиграфии и издательского дела. 2012. №5. С. 44-58.

Саек Дайва, лектор, зав. каф., daiva.sajek@go.kauko.lt, Литва, Каунас, Каунасская коллегия,

Карташева Ольга Алексеевна, канд. техн. наук, доц., okartasheva@bk.ru, Россия, Москва, Высшая школа печати и медиа индустрии Московского политехнического университета,

Андреев Юрий Сергеевич, д-р техн. наук, проф., andreev.yury.s@mail.ru, Россия Москва, Высшая школа печати и медиа индустрии Московского политехнического университета

THE OVERVIEW AND APPLICATION OF INTEGRAL QUALITY PARAMETRES OF OFFSET PRINTING PLATES

D.Sajek, O.A. Kartasheva, Y.S. Andreev

The article presents evaluation methods of the integral quality parameters of offset printing plates as a basis to determine area of technical settings to produce particular printing forms and their application. The article provides evaluation methodology and outcomes of the research of the integral quality parameters of offset printing forms applying FMT (function of modulation transfer) at the system "platesetter - printing form".

Key words: offset printing form, integral parameters, function of modulation transfer.

Sajek Daiva, lecturer, Head of department, daiva.sajek@go.kauko.lt, Lithuania, Kaunas, Kauno kolegija,

Kartasheva Olga Alexeevna, candidate of technical sciences, docent, okartasheva@bk.ru, Russia, Moscow, Moscow Polytechnic University, Higher school of Printing and Media industry,

Andreev Yury Sergeevich, doctor of technical sciences, professor, andreev.yury.s@mail.ru, Russia, Moscow, Moscow Polytechnic University, Higher school of Printing and Media industry

УДК 621.396

ОЦЕНКА ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ ПРИЕМОПЕРЕДАЮЩЕГО МОДУЛЯ АКТИВНОЙ ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ

А.В. Бабайцев, Д.Л. Венценосцев, Л.Н. Рабинский, В.П. Радченко

Рассматриваются тепловые режимы элементов электронной аппаратуры активной фазированной антенной решетки (АФАР), а именно приемопередающего модуля (ППМ), основными тепловыделяющими элементами которого являются выходные усилители мощности (ВУМ) и вторичные источники питания (ВИП). Для данных элементов производится тепловой расчет при экстремальных условиях эксплуатации для температуры окружающей среды $+50$ и -50 °С. Для повышенной температуры рассматривались два варианта конструктивного исполнения ВУМ ППМ и по итогам расчета выбран наилучший. Для повышенной температуры окружающей среды проводился аналитический расчет и численный, методом конечных элементов. Для пониженной температуры окружающей среды проводился расчет только методом конечных элементов. Предварительно были получены все необходимые данные для моделирования условий работы ППМ при экстремальных условиях эксплуатации. Для основных тепловыделяющих элементов был произведен расчет методом конечных элементов. По результатам вычислений сделана оценка тепловых режимов приемопередающего модуля.

Ключевые слова: тепловые режимы, АФАР, ВУМ, охлаждающая жидкость.

Тепловые режимы электронной аппаратуры активной фазированной антенной решетки (АФАР) крайне важны не только для стабилизации её функциональных характеристик, но и для повышения ее надежности. Так, при повышении температуры на десять градусов в полупроводниковых приборах среднее время наработки на отказ уменьшается примерно на порядок [1, 3]. Для обеспечения высокой надежности АФАР, в особенности передающих, ключевое значение имеет система терморегулирования, которая должна поддерживать рабочую температуру на корпусах приборов не выше заданной исходя из заданных требований к надежности АФАР [1-3].

Одной из основных задач является выбор тепловых режимов приемопередающего модуля (ППМ). Основными тепловыделяющими устройствами ППМ с шестнадцатью приемопередающими СВЧ каналами являются шестнадцать выходных усилителей мощности (ВУМ) и четыре вторичных источника питания (ВИП) (рис. 1).

Расчет проводился с целью оценки максимальной температуры теплоотдающих поверхностей микросхем ВУМ и ВИП при экстремальных условиях эксплуатации, соответствующих температуре окружающей среды +50 и -50 °С.

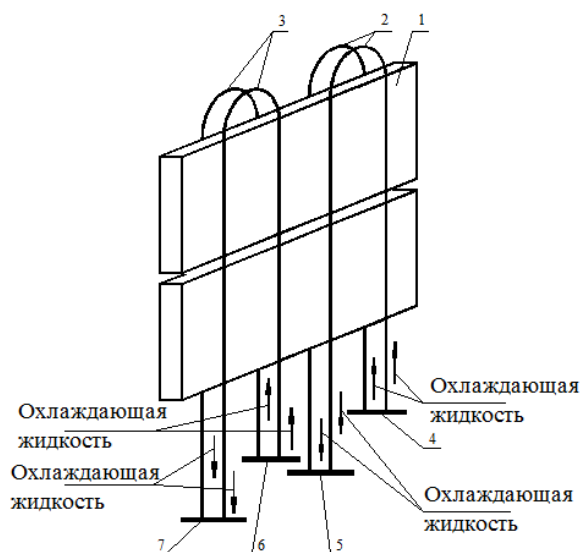


Рис. 1. Схема размещения каналов охлаждения ППМ на основе методики численных исследований:

1 – ППМ; 2 – каналы охлаждения ВУМ; 3 – каналы охлаждения ВИП; 4,6 – раздающие коллектора; 5,7 – собирающие коллектора

Мощность, рассеиваемая микросхемой ВУМ и одним ВИП, равняется 11,27 и 6,263 Вт. При анализе теплового режима микросхем ВУМ за расчетную температуру жидкости принималась максимальная температура жидкости на выходе из каналов охлаждения в собирающий коллектор.

Рассматривались два варианта конструктивного исполнения ВУМ ППМ.

В первом варианте микросхемы с помощью клея ДМ6030Нк с толщиной слоя 30 мкм установлены на малых поддонах с размерами 5,1×6,4×1,5 мм, выполненных из сплава MD-50 КРПГ.740111.001ТУ. Малый поддон с помощью клея ДМ6030Нк с толщиной слоя 30 мкм установлен в углублении одного из двух больших поддонов с размерами 17,8×40×2 мм, выполненных из меди марки М1. В каждом большом поддоне имеются сквозное отверстие прямоугольной формы с размерами 4,2×18,2 мм под установку разъема. Зоны контакта больших поддонов с корпусом ППМ заполнены пастой КПТ-8 по ГОСТ19783-74 с толщиной

слоя 40 мкм [6]. Корпус ППМ с толщиной стенки 1,7 мм выполнен из алюминиевого сплава марки Д16. Чистота обработки контактирующих поверхностей корпуса ППМ и каналов охлаждения соответствует восьмому классу. При этом в зоне их контакта находится воздух при атмосферном давлении. Ширина зоны прилегания канала охлаждения и корпуса ППМ составляет 30 мм. Материал каналов охлаждения – нержавеющая сталь марки 12Х18НТ.

Второй вариант конструктивного исполнения ВУМ ППМ отличается от первого тем, что:

- малые поддоны имеют размер 5,1×6,4×2,65 мм, выполнены из меди марки М1 и припаяны к большим поддонам с помощью припоя ПСр2;
- размеры больших поддонов 17,8×81×1,35 мм;
- сквозные отверстия в больших поддонах отсутствуют;
- толщина стенок корпуса ППМ в зоне размещения ВУМ составляет 3 мм.

Размеры теплоотдающих поверхностей каждого из ВИП составляют 50×80×0,7 мм. Зоны их контакта с корпусом ППМ заполнены пастой КПТ-8 с толщиной слоя 40 мкм. Толщина стенок корпуса ППМ в зоне размещения ВИП принималась равной 3 мм. Физико-механические свойства алюминиевого сплава марки Д16:

- коэффициент теплопроводности $\lambda_{ал} = 117 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{град}^{-1}$;
- модуль упругости $E_{ал} = 7,1 \cdot 10^{10} \text{ Па}$.

Физико-механические свойства стали марки 12Х18Н10Т:

- коэффициент теплопроводности $\lambda_{ст} = 14,5 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{град}^{-1}$;
- модуль упругости $E_{ст} = 1,96 \cdot 10^{11} \text{ Па}$.

Коэффициент теплопроводности меди марки М1 $\lambda_m = 400 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{град}^{-1}$, клея ДМ6030Нк $\lambda_{кл} = 60 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{град}^{-1}$, сплава МД-50 $\lambda_{сп} = 235 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{град}^{-1}$, а пасты КПТ-8 $\lambda_{п} = 0,8 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{град}^{-1}$. Коэффициент теплопроводности воздуха в зоне контакта поверхностей корпуса ППМ и каналов охлаждения $\lambda_v = 2,9 \cdot 10^{-2} \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{град}^{-1}$.

Расчетное удельное давление в зонах контакта поверхностей корпуса ППМ и стенок каналов охлаждения ВУМ $P_{уд. вум} = 2 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Расчетное удельное давление в зонах контакта поверхностей корпуса ППМ и стенок каналов охлаждения ВИП $P_{уд. вип} = 3 \cdot 10^5 \text{ Па}$.

Расчетные теплофизические параметры охлаждающей жидкости:

- плотность $\rho_{ж} = 1058 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$;
- удельная теплоемкость жидкости $C_{рж} = 2986,1 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{град}^{-1}$;
- коэффициент теплопроводности $\lambda_{ж} = 0,347 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{град}^{-1}$;
- коэффициент кинематической вязкости $\nu_{ж} = 1,877 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$;
- критерий Прандтля $Pr_{ж} = 17,1$.

Температура на микросхемах выходных усилителей мощности не должна превышать 75 °С, а на вторичных источниках питания 70 °С для температуры 50 °С.

При расчете на пониженную температуру в первом приближении примем среднюю температуру жидкости в каналах охлаждения равной $-12,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Расчетные теплофизические параметры охлаждающей жидкости при данной температуре:

- плотность $\rho_{\text{ж}} = 1107,5\text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$;
- удельная теплоемкость жидкости $C_{p_{\text{ж}}} = 2678,5\text{ Дж}\cdot\text{кг}^{-1}\cdot\text{град}^{-1}$;
- коэффициент теплопроводности $\lambda_{\text{ж}} = 0,323\text{ Вт}\cdot\text{м}^{-1}\cdot\text{град}^{-1}$;
- коэффициент кинематической вязкости $\nu_{\text{ж}} = 2,948\cdot 10^{-5}\text{ м}^2\cdot\text{с}^{-1}$;
- критерий Прандтля $Pr_{\text{ж}} = 270,98$.

Расчет температурных режимов для температуры $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ проводился применительно к ВУМ, расположенным в зонах выхода жидкости из восходящих ветвей каналов охлаждения, а ВИП – в начале зон восходящих ветвей каналов охлаждения. Рассматривались ВУМ, выполненные по первому конструктивному варианту. При расчете теплового режима ВИП принималось, что тепловой контакт стенок каналов охлаждения с корпусом ППМ в зоне входа жидкости в собирающие коллектора отсутствует.

Методика численных исследований

Суммарная мощность, рассеиваемая ВУМ ППМ секции полотна АФАР,

$$Q_{\text{вум}} = n_{\text{ппм}} Q_{\text{ппм. вум}}, \quad (1)$$

где $n_{\text{ппм}}$ – общее число ППМ в секции полотна АФАР; $Q_{\text{ппм. вум}}$ – мощность, рассеиваемая ВУМ ППМ, Вт.

Суммарная мощность рассеиваемая ВУМ для 128 ППМ равна 23084 Вт, а для рассеиваемая ВИП – 3206,4 Вт. Расчетная максимальная температура охлаждающей жидкости определяется по формуле

$$T_{\text{ж. max}} = T_{\text{ж. вых}} + \frac{Q_{\text{и}}}{\rho_{\text{ж}} V_{\text{ж. сотр}} C_{p_{\text{ж}}}} + \frac{Q_{\text{вум}}}{\rho_{\text{ж}} V_{\text{ж. вум}} C_{p_{\text{ж}}}}, \quad (2)$$

где $T_{\text{ж. вых}}$ – температура жидкости на выходе из ТБ, $^{\circ}\text{C}$; $V_{\text{ж. вум}}$ – суммарный объемный расход жидкости через П-образный коллектор с каналами охлаждения ВУМ, $\text{м}^3\cdot\text{с}^{-1}$.

Расчетная максимальная температура охлаждающей жидкости равна $63,84\text{ }^{\circ}\text{C}$ при $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $-10,43\text{ }^{\circ}\text{C}$ при $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ для ВУМ и $63,26\text{ }^{\circ}\text{C}$ при $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $-12,88\text{ }^{\circ}\text{C}$ при $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ для ВИП.

Коэффициент теплоотдачи от внутренних поверхностей каналов охлаждения к потоку охлаждающей жидкости определяется по формуле

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda_{\text{ж}}}{D_{\text{г.к}}}, \quad Nu = 0,012(\text{Re}_{\text{ж.к}}^{0,87} - 280) Pr_{\text{ж}}^{0,4} \left[1 + \left(\frac{2D_{\text{г.к}}}{L_{\text{к}}} \right)^{0,667} \right], \quad (3)$$

где Nu – критерий Нуссельта; $\lambda_{\text{ж}}$ – коэффициент теплопроводности охлаждающей жидкости; $D_{\text{г.к}}$ – гидравлический диаметр канала, м.

Коэффициент теплоотдачи от внутренних поверхностей каналов для ВУМ равен $5047,4\text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{град}^{-1}$ при $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $496\text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{град}^{-1}$ при $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$, а для ВИП – $447,6\text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{град}^{-1}$ при $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $405\text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{град}^{-1}$ при $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Согласно ранее полученным данным гидравлического расчета критерий Рейнольдса потока жидкости в каналах охлаждения равен $Re_{ж.к} = 7920,5$, а т.к. $2300 < Re_{ж.к} < 10^4$, то имеет место теплоотдача при переходном режим течения [4], тогда критерий Нуссельта равен 82,87 при 50 °С и 7,14 при -50 °С.

Коэффициент теплопередачи будем оценивать в зонах контакта стенок каналов охлаждения и корпуса ППМ по методике, приведенной в [5].

Приведенный модуль упругости и приведенный коэффициент теплопроводности для случая контакта разнородных материалов определяются по формулам

$$E_{np} = \frac{2E_{cm}E_{al}}{E_{cm} + E_{al}}; \lambda_{np} = \frac{2\lambda_{cm}\lambda_{al}}{\lambda_{cm} + \lambda_{al}}. \quad (4)$$

При расчетной средней высоте микронеровностей на контактных поверхностях $h_{cp} = 1,6 \cdot 10^{-6}$ м коэффициент B_p , характеризующий геометрические свойства контактирующих поверхностей, равняется 25.

Термическое сопротивление фактического контакта определяется по формуле

$$R_m = \frac{10^{-4}}{2,12\lambda_{np} \left(\frac{B_p p_{уд. вум}}{E_{np}} \right)^{0,8}}. \quad (5)$$

Тогда термическое сопротивление фактического контакта для ВУМ равно $5,2059 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 \cdot \text{град} \cdot \text{Вт}^{-1}$, а для ВИП – $3,7638 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 \cdot \text{град} \cdot \text{Вт}^{-1}$.

Значение коэффициента заполнения профиля неровностей m при заданном виде обработки поверхностей равняется 0,58, а коэффициент d , характеризующий влияние микронеровностей при контакте поверхностей, равняется 1,55.

Тогда термическое сопротивление межконтактной среды

$$R_{cp} = \frac{2h_{cp}(1-m)d}{\lambda_6}. \quad (6)$$

Коэффициент теплопередачи в зонах контакта стенок каналов охлаждения и корпуса ППМ

$$k_{cm.к} = \frac{1}{R_m} + \frac{1}{R_{cp}}. \quad (7)$$

Тогда коэффициент теплопередачи равняется $1,4113 \cdot 10^4 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{град}^{-1}$ для ВУМ, а для ВИП – $1,4651 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{град}^{-1}$.

В силу симметрии конструкции рассматривались расчетные модели, содержащие один канал ВУМ. При этом модели включали лишь часть стенки канала охлаждения, непосредственно контактирующую с корпусом ППМ.

В расчете принималось, что:

– на теплоотдающей поверхности микросхемы ВУМ и ВИП заданы граничные условия второго рода (для ВУМ удельный тепловой поток равен $5,01 \cdot 10^5 \text{ Вт м}^{-2}$, а для ВИП $1,566 \cdot 10^3 \text{ Вт м}^{-2}$);

– на внутренних поверхностях фрагментов каналов охлаждения имеют место граничные условия третьего рода (коэффициент теплоотдачи от стенок к жидкости для ВУМ $5047,4 \text{ Вт м}^{-2} \cdot \text{град}^{-1}$, а для ВИП $447,6 \text{ Вт м}^{-2} \cdot \text{град}^{-1}$, и температура охлаждающей жидкости для ВУМ равна $63,84 \text{ }^\circ\text{C}$, а для ВИП – $63,26 \text{ }^\circ\text{C}$).

Температурный режим микросхем ВУМ и ВИП, для рассмотренных вариантов, а также для условия при пониженной температуре, определяются методом конечных элементов. Расчет производят в ПО Ansys.

Результаты

Максимальная температура микросхем ВУМ при температуре окружающей среды $50 \text{ }^\circ\text{C}$, выполненных по первому варианту, равняется $79,45 \text{ }^\circ\text{C}$, а для второго варианта равняется $76,44 \text{ }^\circ\text{C}$ (рис.2). Таким образом, расчетная максимальная температура микросхем ВУМ превышает допустимое значение, равное $75 \text{ }^\circ\text{C}$.

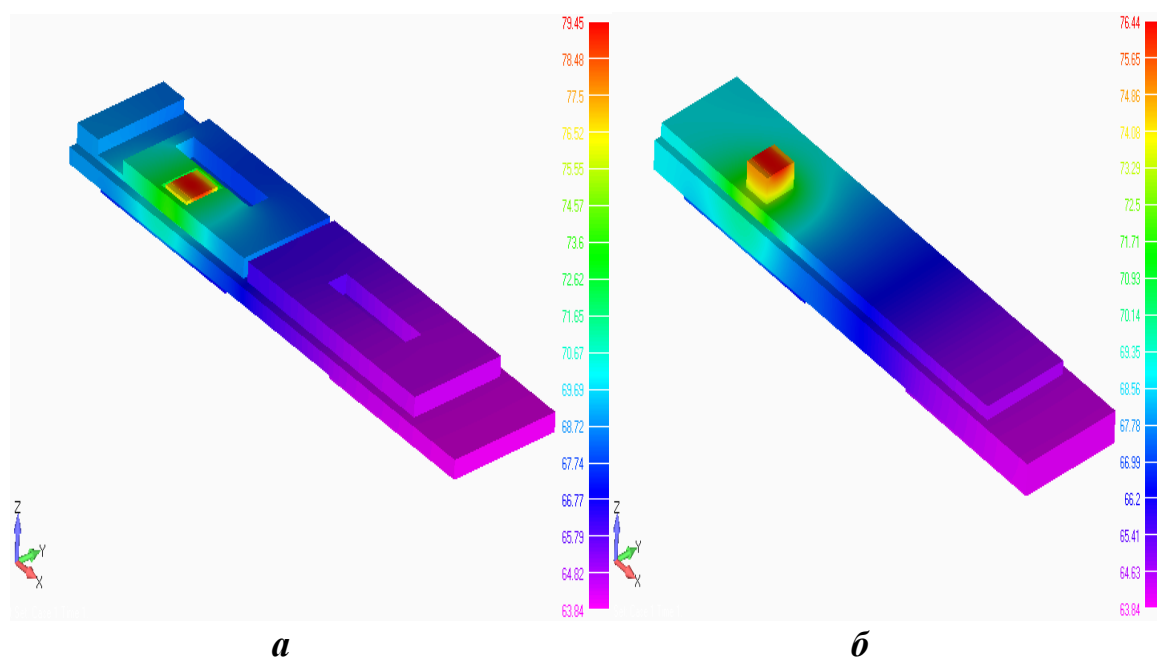


Рис. 2. Результаты расчета температурного режима микросхем для первого (а) и второго (б) вариантов конструктивного исполнения ВУМ МКЭ при температуре окружающей среды $50 \text{ }^\circ\text{C}$

Очевидно, что согласно данным теплового расчета ТБ требуемый температурный режим микросхем ВУМ, выполненных по первому варианту, будет обеспечен при температуре окружающей среды, равной $45 \text{ }^\circ\text{C}$, а по второму варианту – $48 \text{ }^\circ\text{C}$.

При этом расчетная максимальная температура охлаждающей жидкости при температуре окружающей среды 45 °С будет равна 58,76 °С, а при температуре охлаждающей среды 48 °С, температура охлаждающей жидкости будет равна 61,1 °С.

Окончательные результаты расчета максимальной температуры микросхем $T_{м. макс}$, максимальной средней температуры теплоотдающих поверхностей микросхем $T_{м. ср}$, а также поперечных перепадов температуры между микросхемами и внутренними стенками каналов охлаждения $\Delta T_{м. к}$ и внутренними стенками каналов охлаждения и охлаждающей жидкостью $\Delta T_{к. ж}$ в зонах максимальной температуры микросхем в зависимости от температуры окружающей среды $T_{ср}$ приведены в таблице.

Результаты расчета температурных режимов ВУМ

Конструктивный вариант	$T_{ср}, °C$	$T_{ж. макс}, °C$	$T_{м. макс}, °C$	$T_{м. ср}, °C$	$\Delta T_{м. к}, °C$	$\Delta T_{к. ж}, °C$
Первый	45	58,76	74,37	73,74	10,50	5,11
	50	63,84	79,45	78,82	10,50	5,11
Второй	48	61,81	74,41	74,15	8,69	3,91
	50	63,84	76,44	76,18	8,69	3,91

Результаты расчета температурного режима ВИП, полученные с использованием метода конечных элементов, приведены на рис. 3.

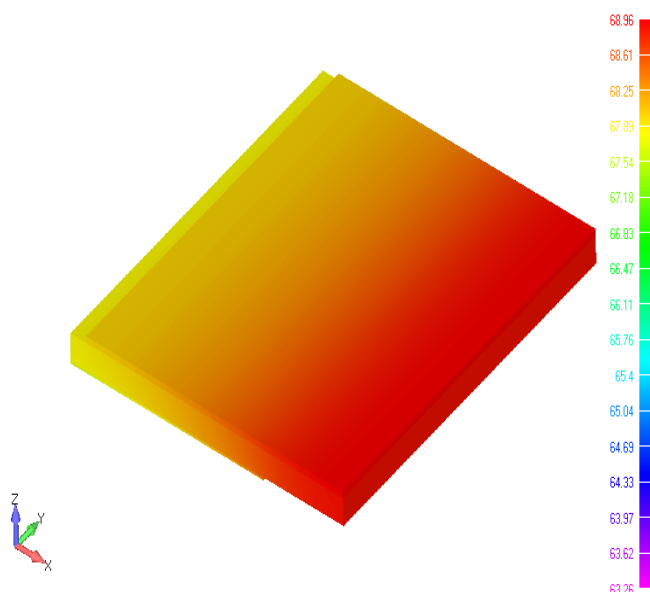


Рис. 3. Результаты расчета температурного режима ВИП МКЭ при температуре окружающей среды 50 °С

Из данных расчета следует, что максимальная температура теплоотдающих поверхностей ВИП составляет 68,96 °С, что не превышает заданного значения, равного 70 °С.

Результаты расчета максимальной температуры микросхем ВУМ, выполненных по первому варианту, и ВИП в стационарном тепловом режиме ППМ при температуре окружающей среды, равной -50 °С, полученные с использованием метода конечных элементов, приведены на рис.3 и 4. Температура теплоотдающих поверхностей ВУМ при окружающей среде -50 °С составляет -10,43 °С, а для ВИП -10,43 °С.

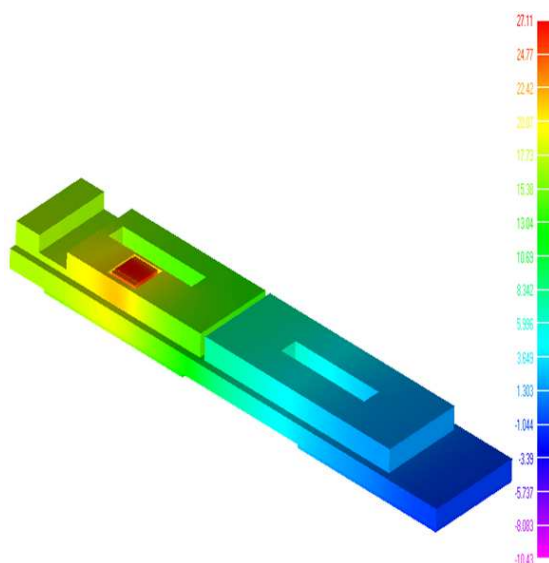


Рис. 4. Результаты расчета температурного режима микросхем ВУМ МКЭ при температуре окружающей среды -50 °С

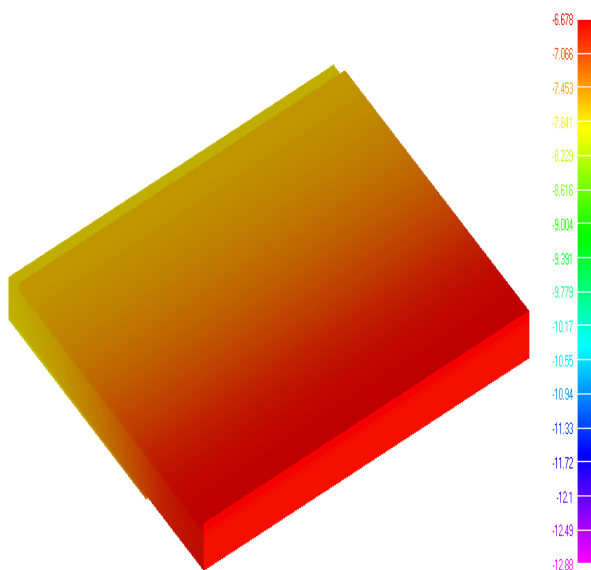


Рис. 5. Результаты расчета температурного режима микросхем ВИП МКЭ при температуре окружающей среды -50 °С

Заключение

Из данных расчета следует, что при принятых допущениях максимальная температура микросхем ВИП при температуре окружающей среды, равной 50 °С, температура равняется 68,96 °С, что не превышает заданного значения, равного 70 °С. При этом температура для микросхем ВУМ, выполненных по первому и второму вариантам, составляет соответственно 79,45 и 76,44 °С, что превышает заданное значение, равное 75 °С. Из проведенного анализа следует, что заданное значение температуры микросхем ВУМ, выполненных по первому варианту, обеспечивается при температуре окружающей среды 45 °С, а по второму варианту – при температуре окружающей среды 48 °С. Из рассматриваемых двух вариантов конструктивного исполнения ВУМ ППМ очевидным выбором является первый вариант. Учитывая, что на процесс разогрева конструктивных элементов ППМ и СОТР существенное влияние оказывает их теплоемкость, значения максимальных температур практически будут ниже.

Снижение температур микросхем ВУМ возможен путем уменьшения температурных перепадов между теплоотдающими поверхностями каналов охлаждения и теплоносителем, что требует увеличения расхода охлаждающей жидкости. Более логичный выход - снижение поперечных перепадов температур между микросхемами ВУМ и внутренними стенками каналов охлаждения, которое может быть обеспечено путем конструктивных доработок ВУМ.

Список литературы

1. Вендик О.Г., Парнес М.Д. Антенны с электрическим сканированием. М.: Сайнс-Пресс, 2002.
2. Mailloux R.J., Phased Array Antenna Handbook – Second Edition, Artech House. Boston-London, 2005.
3. Кондратьев А.С., Балагуровский В.А., Маничев А.О. Методы фазового синтеза нулей в диаграмме направленности фазированной антенной решетки при наличии случайных погрешностей исходных данных и ошибок управления амплитудно-фазовым распределением: тр. 4-й Всерос. конф. «Радиолокация и радиосвязь» // ИРЭ РАН. 2010. С. 556 - 561.
4. Гнилинский В. Вынужденная конвекция в каналах: справочник по теплообменникам / пер с англ., под ред. Б. С. Петухова, В. К. Шикова. М.: Энергоатомиздат, 1987. Т. 1.
5. Попов В.М. Теплообмен в зоне контакта разъемных и неразъемных соединений. М.: Энергия, 1971.
6. ГОСТ19783-74. Паста кремнийорганическая теплопроводная. Технические условия.
7. ОСТ 4Г 0.299.205-84. Теплообменники воздушно-воздушные, жидкостно-жидкостные и воздушно-жидкостные для систем охлаждения радиоэлектронной аппаратуры. Типы и основные параметры.

8. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. М.: Машиностроение, 1975.

9. Идельчик И.Е. Аэродинамика промышленных аппаратов (подвод, отвод и равномерная раздача потока). М.: Энергия, 1964.

10. Кутателадзе С.С. Теплопередача и гидродинамическое сопротивление: справоч. пособие. М.: Энергоатомиздат, 1990.

11. Кеймах М. Я., Меркель Е. Ю., Сладкова Т. Н. Эмпирические зависимости теплофизических параметров воздуха от температуры // Вопросы радиоэлектроники. Сер. ТРТО, 1978, Вып. 1.

Бабайцев Арсений Владимирович асп., мл.науч.сотр., Ar7eny-f_i@mail.ru, Россия, Москва, Московский авиационный институт,

Венценосцев Дмитрий Львович, начальник отдела, Ar7eny-f_i@mail.ru, Россия, Москва, ПАО «Радиофизика»,

Рабинский Лев Наумович, д-р физ.-мат. наук, декан, Ar7eny-f_i@mail.ru, Россия, Москва, Московский авиационный институт,

Радченко Валерий Петрович, зам. ген. директора, Россия, Ar7eny-f_i@mail.ru, Москва, ПАО «Радиофизика»

ESTIMATION OF THERMAL MODES OF THE TRANSMIT-RECEIVE MODULE OF THE ACTIVE ELECTRONICALLY SCANNED ARRAY

A.V. Babaytsev, D.L. Ventsenostsev, L.N. Rabinsky, V. P. Radchenko

In this paper, thermal regimes of the electronic equipment elements of the active electronically scanned array (AESA) are considered. Namely, the transmit-receive modules (TRM), the main heat release elements of which are output amplifiers and secondary power supplies. For these elements, in thermal calculation used extreme operating conditions for an ambient temperature of 50 ° C and -50 ° C. For the high ambient temperature, two versions of the design of the secondary power supplies of TRM were considered and based on the results of the selected best result. For an high ambient temperature, an analytical calculation was carried out and a numerical, finite element method. For a low ambient temperature, only the finite element method was used. Previously, all necessary data was obtained to model the operating conditions of the TRM in extreme operating conditions. For the main heat release elements, the finite element method was calculated. Based on the results of calculations, the evaluation of the thermal modes of the transmit-receive module was made.

Key words: temperature, AESA, secondary power supplies, coolant.

Babaytsev Arseniy Vladimirovich, postgraduate, Ar7eny-f_i@mail.ru, Russia, Moscow, Moscow Aviation Institute (National Research University),

Ventsenostsev Dmitriy Lvovich, head of department, Ar7eny-f_i@mail.ru, Russia, Moscow, PJSC «Radiofizika»,

Rabinsky Lev Naumovich, doctor of physical and mathematical sciences, decan, Ar7eny-f_i@mail.ru, Russia, Moscow, Moscow Aviation Institute (National Research University),

Radchenko Valeriy Petrovich, Deputy General Director, Ar7eny-f_i@mail.ru, Russia, Moscow, PJSC «Radiofizika»

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛИЯНИЯ ДОЛИВОВ НА ПОТЕНЦИАЛЬНЫЙ РЕСУРС И ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ПРЕДЕЛЫ ПРОЦЕССОВ ОКИСЛЕНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО МОТОРНОГО МАСЛА М-10Г₂К

Д.В. Агровиченко, Б.И. Ковальский, В.А. Балясников, В.Г. Шрам

Приведены результаты испытания минерального моторного масла М-10Г₂К без доливов и с доливками на термоокислительную стабильность, оцененную по коэффициенту поглощения светового потока и испаряемости. Предложен критерий оценки влияния доливов и температуры на скорость процессов окисления, обозначенный как показатель потенциального ресурса и определяемый временем достижения коэффициентом поглощения светового потока значений, равных 0,2 и 0,7. Предложена аналитическая модель определения температуры начала термоокислительного процесса и критической температуры.

Ключевые слова: термоокислительная стабильность, коэффициент поглощения светового потока, испаряемость, потенциальный ресурс, доливы, температуры начала процессов окисления и испарения, критические температуры процессов окисления и испарения.

Введение. Одним из важнейших направлений повышения эффективности использования моторных масел является улучшение их качества и увеличение ресурса. В процессе эксплуатации двигателей внутреннего сгорания в результате износа цилиндропоршневой группы увеличивается угар масла, приводящий к доливкам и восстановлению его эксплуатационных свойств. Однако существует проблема недостаточной изученности влияния доливов на состояние моторных масел и их ресурс.

Целью настоящей работы является установление влияния доливов в процессе эксплуатации двигателя внутреннего сгорания на ресурс моторных масел и измерение температурных пределов их работы.

Методика исследования. Методика исследования предусматривала применение следующих средств контроля и испытания: прибора для термостатирования масел, фотометра для прямого фотометрирования окисленных масел при толщине фотометрируемого слоя 2 мм, электронных весов.

Термоокислительная стабильность [1] оценивалась по коэффициенту поглощения светового потока, учитывающему влияние тепловой энергии на преобразования в масле [2] и испарение. Влияние доливов на процессы окисления масла определялось в сопоставлении с результатами испытания его без доливов. Масса доливаемого масла определялась массой испарившегося масла и его потерями при измерении вязкости и фотометрировании. Масса пробы масла после доливов равнялась 100 г. Время ис-

пытания определялось временем достижения значения коэффициента поглощения светового потока значений, равных 0,7-0,8, причем через каждые 8 ч отбиралась проба окисленного масла для контроля изменения параметров термоокислительной стабильности [3]. Масло термостатировалось при трех температурах: 160, 170 и 180 °С.

Результаты исследования. На рис. 1 представлены зависимости коэффициента поглощения светового потока K_{Π} от времени t и температуры испытания T , описываемые полиномом второго порядка.

$$K_{\Pi} = at^2 + bt + c, \quad (1)$$

где a , b и c – коэффициенты, характеризующие сопротивляемость исследуемого масла температурным воздействиям; a определяет интенсивность изменения коэффициента поглощения светового потока K_{Π} ; b – скорость изменения оптических свойств; c – начальное значение коэффициента K_{Π} ; t – время испытания, ч.

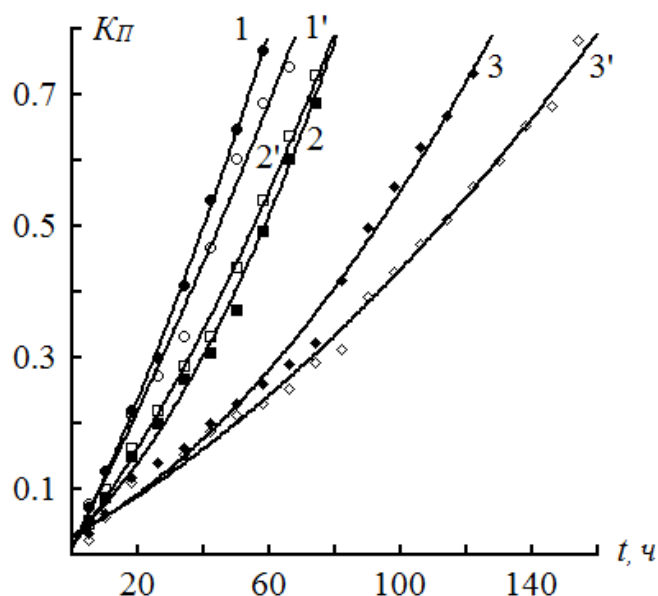


Рис. 1. Зависимости коэффициента поглощения светового потока от времени испытания минерального моторного масла М-10Г₂к: 1 – 180 °С; 2 – 170 °С; 3 – 160 °С; 1, 2, 3 – без доливов; 1', 2', 3' – с доливами

Регрессионные уравнения процессов окисления без доливов масла составили при температурах

$$180 \text{ °С: } K_{\Pi} = 5,72 \cdot 10^{-5} t^2 + 0,0096t + 0,024; \quad (2)$$

$$170 \text{ °С: } K_{\Pi} = 7,33 \cdot 10^{-5} t^2 + 0,0034t + 0,049; \quad (3)$$

$$160 \text{ °С: } K_{\Pi} = 2,93 \cdot 10^{-5} t^2 + 0,0022t + 0,046. \quad (4)$$

Регрессионные уравнения процессов окисления исследуемого масла с доливами составили при температурах

$$180 \text{ }^{\circ}\text{C}: K_{\Pi} = 3,56 \cdot 10^{-5} t^2 + 0,0089t + 0,03; \quad (5)$$

$$170 \text{ }^{\circ}\text{C}: K_{\Pi} = 4,42 \cdot 10^{-5} t^2 + 0,006t + 0,026; \quad (6)$$

$$160 \text{ }^{\circ}\text{C}: K_{\Pi} = 1,36 \cdot 10^{-5} t^2 + 0,0026t + 0,04. \quad (7)$$

Коэффициент поглощения светового потока K_{Π} можно использовать для установления температурных пределов процесса окисления, а именно для определения температуры, при которой масло начинает окисляться и критической температуры, при которой протекают аномальные явления.

С целью нахождения начальной температуры окисления масла необходимо построить графические зависимости коэффициента поглощения светового потока от температуры испытания. Результаты вычисления коэффициента поглощения светового потока во времени испытания, равном 20, 30, 40 и 50 ч, от температуры испытания сведены в табл.1, а графические зависимости представлены на рис. 2 а, б, в, г.

Таблица 1

Результаты вычисления коэффициента поглощения светового потока минерального моторного масла М-10Г₂к от температуры испытания

Время испытания t , ч	Температура испытания T , $^{\circ}\text{C}$	Коэффициент поглощения светового потока K_{Π}	
		масло без доливов	масло с доливками
20	180	0,239	0,222
	170	0,146	0,164
	160	0,102	0,097
30	180	0,363	0,329
	170	0,217	0,246
	160	0,138	0,130
40	180	0,500	0,443
	170	0,302	0,337
	160	0,181	0,166
50	180	0,647	0,564
	170	0,402	0,436
	160	0,229	0,204

Согласно данным табл. 1 и рис. 2, а, б, в, г процесс окисления масла при температурах 160 и 180 $^{\circ}\text{C}$ протекает менее интенсивно в случае испытания масла с доливками вне зависимости от времени испытания, однако при температуре 170 $^{\circ}\text{C}$ коэффициент поглощения светового потока ниже в случае испытания масла без доливов. Кроме того, установлено, что во время сорокачасового и пятидесятичасового испытаний масло с доливками начинает окисляться при бóльших температурах, чем при испытании масла без доливов, а именно в случае, когда $t = 40$ ч, доливы повышают температуру начала процесса окисления до 154,9 $^{\circ}\text{C}$ (кривая 3') против

149,3 °С при испытании масла без доливов (кривая 3); при пятидесятичасовом испытании с доливками и без них температуры начала процесса окисления соответственно равны 153,6 °С (кривая 4') и 141,0 °С (кривая 4), т.е. доливки повышают температуру начала процесса окисления. В то же время, в случае двадцати- и тридцатичасового окисления температура начала процесса выше в случае испытания масла без доливов (кривые 1 и 2).

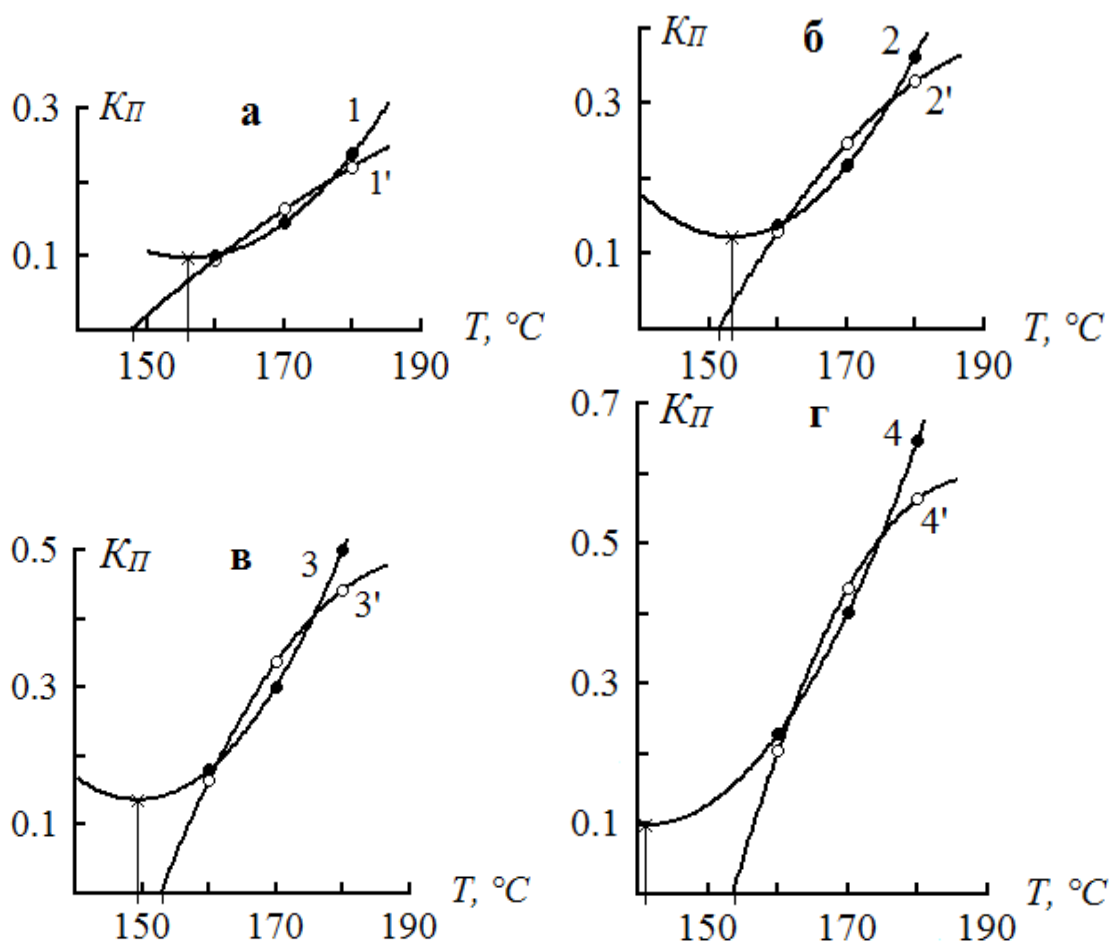


Рис. 2. Зависимости коэффициента поглощения светового потока от температуры испытания минерального моторного масла М-10Г₂к: а – 20 ч, б – 30 ч, в – 40 ч, г – 50 ч; 1, 2, 3, 4 – без доливов, 1', 2', 3', 4' – с доливками

Для оценки влияния температуры и доливок на скорость процессов окисления введен показатель потенциального ресурса, определяемый временем достижения коэффициентом поглощения светового потока значений, равных 0,2 и 0,7, с помощью которого можно определить критическую температуру для исследуемого масла и влияние степени его окисления на этот показатель. Результаты вычисления потенциального ресурса от температуры испытания сведены в табл. 2, а графические зависимости представлены на рис. 3, а, б.

Таблица 2

Результаты вычисления потенциального ресурса минерального моторного масла М-10Г₂к при $K_{\Pi} = 0,2$ и $K_{\Pi} = 0,7$ в зависимости от температуры испытания

Коэффициент поглощения светового потока K_{Π}	Температура испытания T , °С	Потенциальный ресурс P , ч	
		масло без доливов	масло с доливками
0,2	180	16,7	17,8
	170	27,8	24,6
	160	44,1	49,0
0,7	180	53,4	60,6
	170	73,9	73,0
	160	116,5	144,6

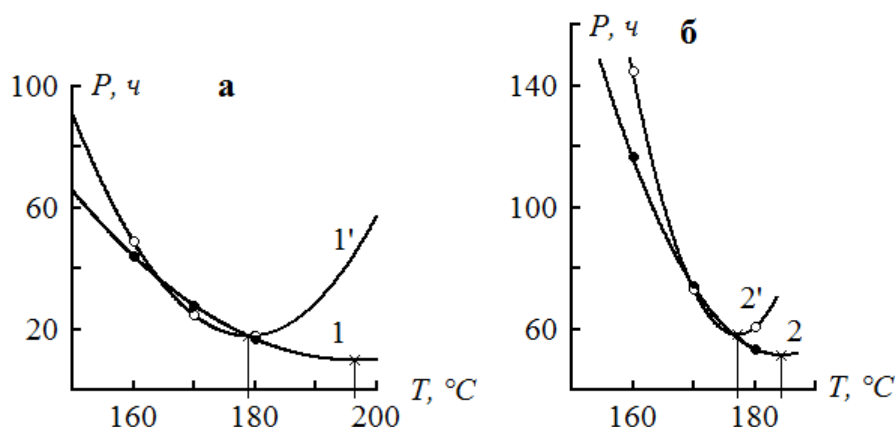


Рис. 3. Зависимости потенциального ресурса минерального моторного масла М-10Г₂к от температуры испытания при $K_{\Pi} = 0,2$ (а) и $K_{\Pi} = 0,7$ (б): 1, 2 – без доливов, 1', 2' – с доливками

Установлено, что критическая температура окисления при достижении коэффициентом поглощения светового потока значения, равного 0,2 для масла без доливов составила 196,3 °С, а для масла с доливками – 178,8 °С. При коэффициенте поглощения светового потока, равном 0,7, критическая температура окисления составила 184,3 и 177,1 °С в случае испытания масла без доливов и с доливками соответственно. Таким образом, доливы понижают критическую температуру окисления.

По данным рис. 3, а ($K_{\Pi} = 0,2$) установлено, что при температуре испытания до 164,2 °С и свыше 178,8 °С доливы увеличивают потенциальный ресурс, однако в диапазоне температур от 164,2 до 178,8 °С доливы масла незначительно его уменьшают. В случае достижения коэффициентом поглощения светового потока значения, равного 0,7 (рис. 3, б), положительное влияние доливов сказывается на большем интервале температур, а именно при температуре до 169,2 °С и свыше 176,4 °С; в температурном диапазоне от 169,2 до 176,4 °С доливы масла существенной роли не играют.

На рис. 4 представлены зависимости испаряемости G минерального моторного масла М-10Г₂к от времени t и температуры испытания T .

Установлено, что испаряемость масла при испытании практически не зависит от доливов в исследуемом интервале температур (160-180 °С). Процесс испарения минерального масла описывается полиномом второго порядка:

$$G = At^2 + Bt + C, \quad (8)$$

где A , B и C – коэффициенты, определяющие склонность испытуемого масла к испарению: A характеризует интенсивность изменения испаряемости G , B – скорость его изменения, C – начальную концентрацию легких продуктов в масле.

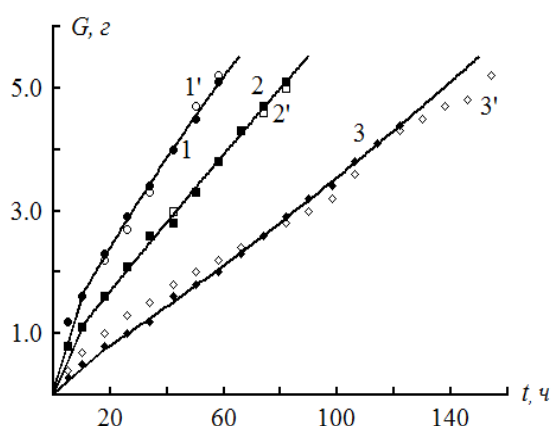


Рис. 4. Зависимости испаряемости минерального моторного масла М-10Г₂к от времени испытания:
1 – 180 °С; 2 – 170 °С; 3 – 160 °С; 1, 2, 3 – без доливов;
1', 2', 3' – с доливами

Регрессионные уравнения процессов испарения масла без доливов и с доливами составили при температурах

$$180 \text{ °С: } G = -1,76 \cdot 10^{-4} t^2 + 0,0836t + 0,802; \quad (9)$$

$$170 \text{ °С: } G = -2,89 \cdot 10^{-5} t^2 + 0,0581t + 0,542; \quad (10)$$

$$160 \text{ °С: } G = 3,89 \cdot 10^{-5} t^2 + 0,0296t + 0,198. \quad (11)$$

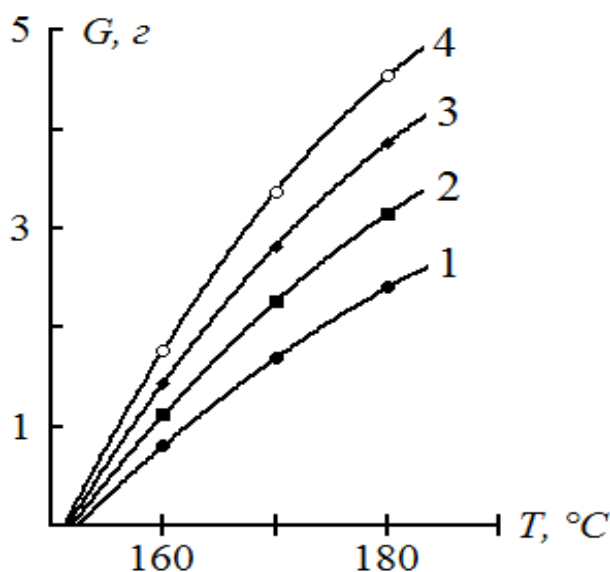
Для определения температуры начала процесса испарения следует построить графики зависимости испаряемости от температуры испытания. Результаты вычисления значения испаряемости во времени испытания, равном 20, 30, 40 и 50 ч, от температуры сведены в табл. 3, а графические зависимости представлены на рис. 5.

Согласно данным табл. 3 и рис. 5 интенсивность испарения зависит от времени испытания, однако температура начала испарения с увеличением времени испытания изменяется незначительно и составляет 151,84, 151,77, 151,43 и 151,15 °С.

Таблица 3

Результаты вычисления значений испаряемости минерального моторного масла М-10Г₂к в зависимости от температуры

Время испытания t , ч	Температура испытания T , °C	Испаряемость G , г
20	180	2,404
	170	1,692
	160	0,806
30	180	3,152
	170	2,259
	160	1,121
40	180	3,864
	170	2,820
	160	1,144
50	180	4,542
	170	3,375
	160	1,776



**Рис. 5. Зависимости испаряемости минерального моторного масла М-10Г₂к от температуры и времени испытания:
1 – 20 ч, 2 – 30 ч, 3 – 40 ч, 4 – 50 ч**

Для определения критической температуры испарения построены зависимости времени испытания минерального моторного масла М-10Г₂к от температуры испытания (рис. 6). Время фиксировалось в момент достижения значения испаряемости, равного 2 г (кривая 1) и 4 г (кривая 2), при испытаниях в диапазоне температур 160-180 °C. Результаты вычисления времени испытания, при котором испаряется 2 и 4 г масла, от температуры испытания сведены в табл. 4.

Таблица 4

Результаты вычисления времени испытания минерального моторного масла М-10Г₂к при достижении испаряемости $G = 2$ г и $G = 4$ г в зависимости от температуры

Испаряемость G , г	Температура испытания T , °С	Время испытания t , ч
2	180	14,8
	170	25,4
	160	66,8
4	180	42,0
	170	61,4
	160	112,0

Критическая температура испытания составила для исследуемого масла независимо от доливов 178,5 и 181,2 °С в случае испарения 2 и 4 г масла соответственно. Повышение критической температуры в случае $G = 4$ г вызвано влиянием продуктов окисления и испарением легких фракций масла.

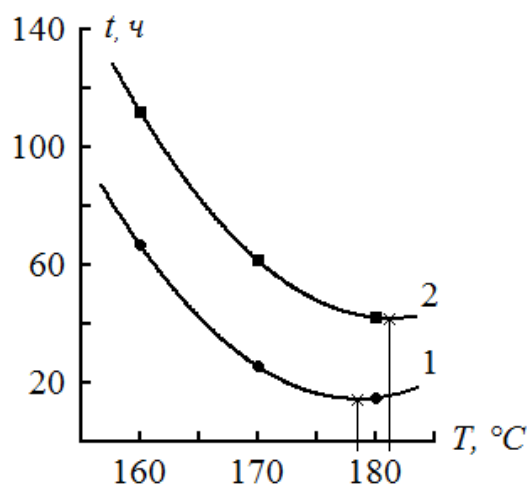


Рис. 6. Зависимости времени испытания минерального моторного масла М-10Г₂к от температуры испытания при массе испарившегося масла, равной 2 г (кривая 1) и 4 г (кривая 2)

Коэффициент поглощения светового потока и испаряемость характеризуют термоокислительную стабильность минерального моторного масла М-10Г₂к, поэтому исследование влияния доливов на этот показатель является актуальной задачей, т.к. учитывает совместное влияние процессов окисления и испарения на термоокислительную стабильность, а также на изменение температуры начала процессов преобразования в масле и критической температуры работоспособности исследуемого масла.

Испаряемость масел оценивалась коэффициентом испаряемости K_G , определяемым отношением:

$$K_G = \frac{m}{M}, \quad (12)$$

где m – масса испарившейся части пробы масла за время испытания t , г; M – масса оставшейся части пробы масла после испытания за время t , г.

Количество тепловой энергии, поглощенной продуктами окисления и испарения, определяет коэффициент термоокислительной стабильности $\Pi_{ТОС}$:

$$\Pi_{ТОС} = K_{\Pi} + K_G, \quad (13)$$

где K_{Π} – коэффициент поглощения светового потока; K_G – коэффициент испаряемости, определяемый по формуле 12.

На рис. 7 представлены зависимости коэффициента термоокислительной стабильности от времени испытания минерального моторного масла М-10Г₂к при различных температурах без доливов и с доливками.

Регрессионные уравнения зависимостей (рис. 7) без доливок масла составили при температурах

$$180 \text{ }^\circ\text{C}: K_{ТОС} = 5,58 \cdot 10^{-5} t^2 + 0,0104t + 0,032; \quad (14)$$

$$170 \text{ }^\circ\text{C}: K_{ТОС} = 7,33 \cdot 10^{-5} t^2 + 0,004t + 0,054; \quad (15)$$

$$160 \text{ }^\circ\text{C}: K_{ТОС} = 2,98 \cdot 10^{-5} t^2 + 0,0025t + 0,048. \quad (16)$$

Регрессионные уравнения зависимостей исследуемого масла с доливками составили при температурах

$$180 \text{ }^\circ\text{C}: K_{ТОС} = 4,2 \cdot 10^{-5} t^2 + 0,0093t + 0,041; \quad (17)$$

$$170 \text{ }^\circ\text{C}: K_{ТОС} = 4,33 \cdot 10^{-5} t^2 + 0,0068t + 0,031; \quad (18)$$

$$160 \text{ }^\circ\text{C}: K_{ТОС} = 1,38 \cdot 10^{-5} t^2 + 0,0029t + 0,044. \quad (19)$$

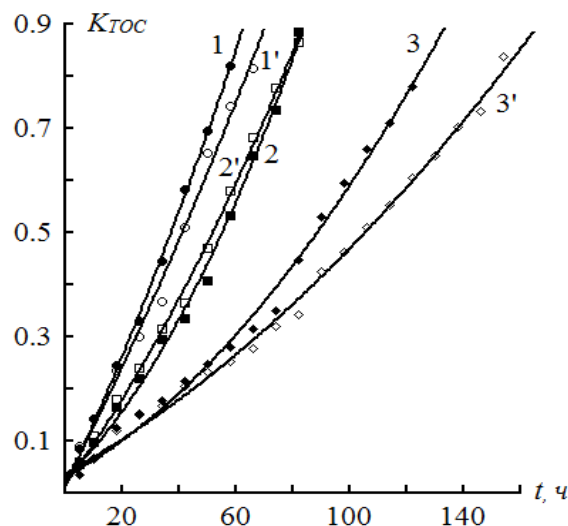


Рис. 7. Зависимости коэффициента термоокислительной стабильности от времени испытания минерального моторного масла М-10Г₂к: 1 – 180 °С; 2 – 170 °С; 3 – 160 °С; 1, 2, 3 – без доливок; 1', 2', 3' – с доливками

Установлено, что с понижением температуры испытания скорость изменения коэффициента $K_{ТОС}$ независимо от доливов понижается.

Зависимости коэффициента термоокислительной стабильности $K_{ТОС}$ можно использовать для установления температурных пределов процессов превращения: температуры начала процесса и предельной температуры работоспособности исследуемого масла.

Для определения температуры начала термоокислительного процесса необходимо построить графические зависимости коэффициента термоокислительной стабильности от температуры при 20, 30, 40 и 50 ч испытания, что позволит исследовать влияние времени испытания на температурные пределы работоспособности исследуемого масла. Результаты вычисления значения коэффициента термоокислительной стабильности от температуры испытания сведены в табл. 5, а графические зависимости представлены на рис. 8, а, б, в, г.

Согласно данным табл. 5 и рис. 8, а, б, в, г доливы замедляют термоокислительный процесс при температурах 160 и 180 °С, однако при температуре испытания 170 °С эти процессы ускоряются при доливах. Вместе с тем, с увеличением времени испытания от 30 до 50 ч температура начала процессов преобразования в масле увеличивается при доливах (кривые 2', 3', 4') и составляет 151,69, 152,99 и 153,69 °С против 150,56, 144,85 и 134,19 °С в маслах без доливов. Однако при времени испытания 20 ч доливы понижают температуру начала преобразований в масле от 152,73 °С (кривая 1) до 148,54 °С (кривая 1').

Таблица 5

Результаты вычисления коэффициента термоокислительной стабильности минерального моторного масла М-10Г₂к в зависимости от температуры испытания

Время испытания, ч	Температура испытания, °С	Коэффициент термоокислительной стабильности $K_{ТОС}$	
		масло без доливов	масло с доливами
20	180	0,262	0,243
	170	0,164	0,184
	160	0,110	0,108
30	180	0,394	0,357
	170	0,240	0,273
	160	0,149	0,143
40	180	0,537	0,480
	170	0,332	0,372
	160	0,195	0,182
50	180	0,691	0,611
	170	0,438	0,479
	160	0,247	0,224

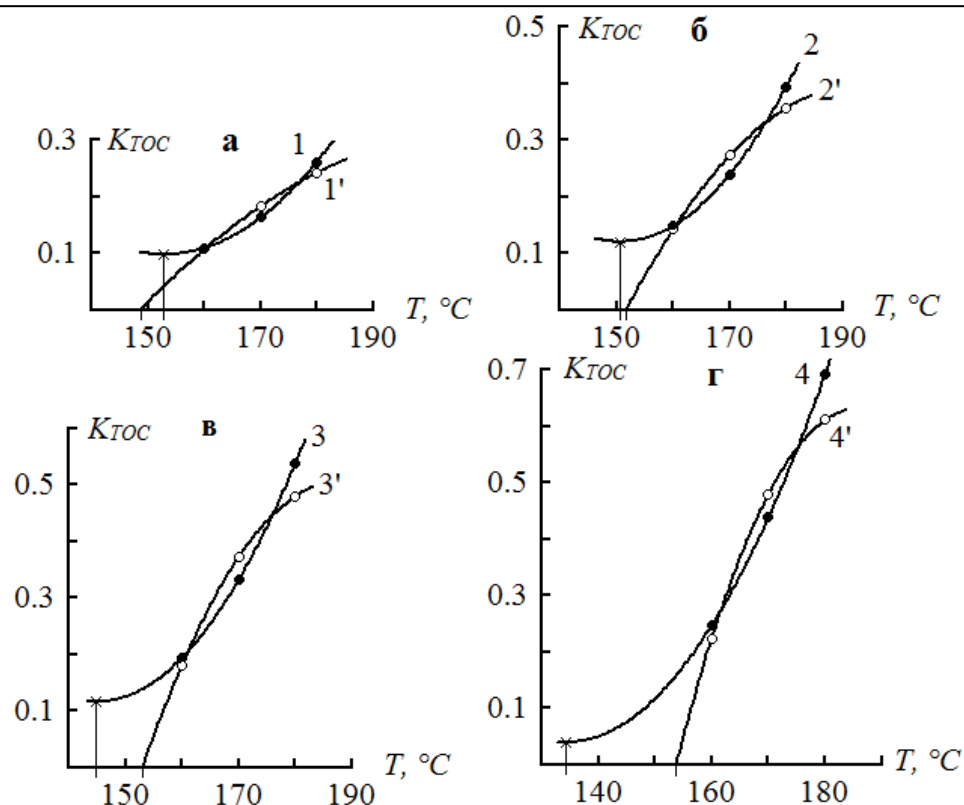


Рис. 8. Зависимости коэффициента термоокислительной стабильности минерального моторного масла М-10Г₂к от температуры испытания: а – 20 ч; б – 30 ч; в – 40 ч; г – 50 ч; 1, 2, 3, 4 – без доливов; 1', 2', 3', 4' – с доливками

На рис. 9 представлены зависимости времени испытания минерального моторного масла М-10Г₂к при коэффициентах термоокислительной стабильности $K_{ТОС}$, равных 0,1 (а), 0,2 (б) и 0,7 (в), от температуры испытания. Результаты вычисления времени испытания указаны в табл. 6. Эти результаты использованы для определения критической температуры работоспособности исследуемого масла.

Таблица 6
Результаты вычисления времени испытания минерального моторного масла М-10Г₂к при значениях коэффициента термоокислительной стабильности, равных 0,1, 0,2 и 0,7, в зависимости от температуры испытания

Коэффициент термоокислительной стабильности $K_{ТОС}$	Температура испытания, °С	Время испытания, ч	
		масло без доливов	масло с доливками
0,1	180	6,33	6,22
	170	9,68	9,56
	160	17,34	17,8
0,2	180	14,96	15,99

Коэффициент термоокислительной стабильности $K_{ТОС}$	Температура испытания, °С	Время испытания, ч	
		масло без доливов	масло с доливками
0,2	170	24,97	21,82
	160	40,95	44,40
0,7	180	50,54	56,49
	170	70,45	68,50
	160	111,86	136,9

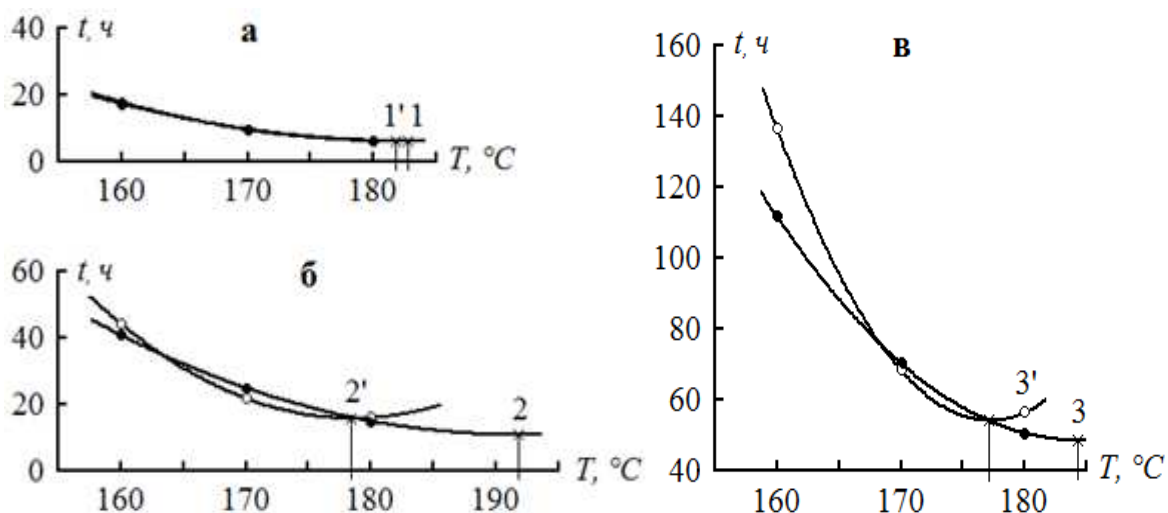


Рис. 9. Зависимости времени испытания минерального моторного масла М-10Г₂к при коэффициентах термоокислительной стабильности $K_{ТОС}$, равных 0,1 (а), 0,2 (б) и 0,7 (в), от температуры испытания: 1, 2, 3 – без доливов; 1', 2', 3' – с доливками

Критическая температура окисления масла в случае достижения коэффициентом термоокислительной стабильности $K_{ТОС}$ значения, равного 0,1, составила 182,77 °С при испытании масла без доливов и 181,82 °С – с доливками. При $K_{ТОС} = 0,2$ критические температуры составили 191,77 и 178,48 °С при окислении масла без доливов и с доливками соответственно. В случае достижения коэффициентом термоокислительной стабильности значения, равного 0,7 критическая температура при испытании масла с доливками так же, как и при меньших величинах $K_{ТОС}$, понижается и составляет 177,13 °С против 184,26 °С при испытании без доливов. Отсюда следует, что доливки понижают критическую температуру термоокислительного процесса.

Вместе с тем, по данным табл. 6 и рис. 9,б, установлено, что при температуре испытания до 163,4 °С и свыше 178,85 °С доливки увеличивают ресурс масла, однако в диапазоне температур от 163,4 до 178,85 °С доливки незначительно его уменьшают. В случае достижения коэффициентом

термоокислительной стабильности значения, равного 0,7 (рис. 9,в), положительное влияние доливов сказывается при температурах до 168,42 °С и свыше 177,06 °С. На начальном этапе термоокисления ($K_{ТОС} = 0,1$, рис. 9,а) доливы на ресурс масла существенного влияния не оказывают.

Выводы

1. Установлено, что процесс окисления масла при температурах 160 и 180 °С протекает менее интенсивно в случае испытания масла с доливками вне зависимости от времени испытания, однако при температуре 170 °С коэффициент поглощения светового потока ниже в случае испытания масла без доливов. Испаряемость масла при испытании практически не зависит от доливов в исследуемом интервале температур (160-180 °С).

2. Определено, что доливы масла повышают температуру начала процесса окисления при сорокачасовом и пятидесятичасовом испытании. В то же время в случае двадцати- и тридцатичасового окисления температура начала процесса выше в случае испытания масла без доливов, в то же время доливы масла понижают критическую температуру окисления на всем температурном интервале.

3. При значении коэффициента поглощения светового потока, равном 0,2, установлено, что при температуре испытания до 164,2 °С и свыше 178,8 °С доливы увеличивают потенциальный ресурс, однако в диапазоне температур от 164,2 до 178,8 °С доливы масла незначительно его уменьшают. В случае достижения коэффициентом поглощения светового потока значения, равного 0,7, положительное влияние доливов сказывается на большем интервале температур, а именно при температуре до 169,2 °С и свыше 176,4 °С. В температурном диапазоне от 169,2 до 176,4 °С доливы масла существенной роли не играют.

Список литературы

1. Патент 2274850 РФ МПК G01N 25/02. Способ определения термоокислительной стабильности смазочных материалов / Б. И. Ковальский, С.И. Васильев, Ю. Н. Безбородов, В.В. Гаврилов. Опубл. 20.04.2006. Бюл. № 11.

2. Патент 2366945 РФ МПК G01N 33/30. Способ определения температурной стойкости смазочных масел / Б.И. Ковальский, Н.Н. Малышева. Опубл. 10.09.2009. Бюл. № 25.

3. Патент 2371706 РФ МПК G01N 25/00. Способ определения термоокислительной стабильности смазочных материалов / Б.И. Ковальский, Е.А. Вишневская, Ю.Н. Безбородов, Н.Н. Малышева. Опубл. 27.10.2009. Бюл. № 30.

Агровиченко Дарья Валентиновна, асп., ассистент, dashuta2806@mail.ru, Россия, Красноярск, Сибирский федеральный университет, Институт нефти и газа,

Ковальский Болеслав Иванович, д-р техн. наук, проф, Labsm@mail.ru, Россия, Красноярск, Сибирский федеральный университет, Институт нефти и газа,

Балясников Валерий Александрович, асп., kansas29@mail.ru, Россия, Красноярск, Сибирский федеральный университет, Институт нефти и газа,

Шрам Вячеслав Геннадьевич, канд. техн. наук, доц., Shram18rus@mail.ru, Россия, Красноярск, Сибирский федеральный университет, Институт нефти и газа

DEFINITION METHOD OF TOPPING INFLUENCE ON THE POTENTIAL RESOURCE
AND TEMPERATURE LIMITS OF PROCESSES OF OXIDATION OF THE MINERAL
ENGINE OIL M-10G2K

D.V. Agrovichenko, B.I. Kowalski, V.A. Balyasnikov, V.G. Shram

The results of testing of the mineral engine oil M-10g2k without topping and with topping on the thermooxidizing stability estimated on coefficient of absorption of a light flow and evaporability are presented. The criterion for evaluation of influence of topping and temperature on the speed of processes of oxidation designated as an indicator of a potential resource and determined by achievement time in coefficient of absorption of a light flow of the values equal 0,2 and 0,7 is offered. The analytical model of determination of temperature of the beginning of thermooxidizing process and critical temperature is offered.

Key words: thermooxidizing stability, coefficient of absorption of a light flow, evaporability, potential resource, topping, temperatures of the beginning of processes of oxidation and evaporation, critical temperatures of processes of oxidation and evaporation.

Agrovichenko Darya Valentinovna, postgraduate, assistant, dashuta2806@mail.ru, Russia, Krasnoyarsk, Siberian Federal University, Institute of Oil and Gas,

Kowalski Boleslav Ivanovich, doctor of technical sciences, professor, Labsm@mail.ru, Russia, Krasnoyarsk, Siberian Federal University, Institute of Oil and Gas,

Balyasnikov Valery Aleksandrovich, postgraduate, kansas29@mail.ru, Russia, Krasnoyarsk, Siberian Federal University, Institute of Oil and Gas,

Shram Vyacheslav Gennadievich, candidate of technical sciences, docent, Shram18rus@mail.ru, Russia, Krasnoyarsk, Siberian Federal University, Institute of Oil and Gas

О СОВРЕМЕННЫХ ПОДХОДАХ К ПРОЦЕССУ ФОРМИРОВАНИЯ ОБЛИКА ЭФФЕКТИВНЫХ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ В ПОЛЯРНЫХ РЕГИОНАХ

Н.А. Махутов, М.Ю. Куприков, В.Л.Балановский, Н.М.Куприков

Рассмотрен комплексный подход к внедрению современных распределенных систем безопасности объектов в полярных регионах с учетом комбинированных, интегрированных рисков.

Ключевые слова: акт незаконного вмешательства, форсайт, инновационные системы безопасности, системный проект, устойчивость и долговечность зданий и сооружений, система мониторинга, программный комплекс.

Являясь уникальным регионом страны, обладающим крайне суровыми климатическими условиями и при этом колоссальными количествами неразработанных энергоресурсов. Арктическая зона представляет собой наиболее перспективное направление для роста сырьевой экономики страны.

В настоящее время в связи с развитием промышленной, транспортной и городской инфраструктуры в полярных регионах возросла необходимость в обеспечении безопасности комплексных, многофункциональных объектов, характеризующихся большим количеством распределенных элементов сложной функциональности и интеграции со смежными системами (различными инженерно-техническими подсистемами и каналами связи).

Такие объекты являются точками повышенных комбинированных, интегрированных рисков, требующие комплексного подхода к внедрению современных распределенных систем комплексной безопасности. Очевидно, что система определяемых государством правовых, экономических, организационных и иных мер противодействия актам незаконного вмешательства (АНВ) и терроризму должна реализовываться по единой методике и предусматривать общие подходы к зонированию и выявлению критических элементов объектов. При этом системы безопасности сложных объектов в полярных регионах должны быть комплексными, не направленными на противодействие одной группе факторов, так как воздействие одних факторов может проявляться через другие.

Для создания и реализации масштабных систем безопасности сложных (кластерных) объектов в полярных регионах от начального этапа до завершающей фазы передачи в промышленную эксплуатацию необходимо разрабатывать системные проекты, относящиеся к начальной стадии комплекса работ по созданию и обеспечению эксплуатации систем безопасности. Такие системные проекты должны разрабатываться на основе форсайт-технологии, оперирующей образами будущего, что радикально меня-

ет отношение к ресурсному подходу при выстраивании систем безопасности – от подхода «по остаточному принципу» (в виду плановой убыточности работ в области безопасности) к человекоориентированному подходу.

Форсайт в области безопасности предусматривает разработку пакета проектных предложений относительно безопасного развития объектов. Необходимость перехода к использованию форсайта связан с тем, что для традиционной разработки характерно осуществление начальных этапов неформализованными способами. В результате чего заказчики впервые могут увидеть систему безопасности объекта только после того, как она уже в большей степени реализована. Как правило, эта система отличается от того, что заказчики ожидали увидеть и поэтому далее следует еще несколько этапов ее доработки или модификации, что требует дополнительных значительных затрат денег и времени. Более того, такая система учитывает простейшие угрозы и не учитывает разработки террористов, подготавливаемых западными специалистами. Решить эту проблему и избежать дополнительных расходов можно разработав системный проект безопасности на базе форсайт-технологии.

В современных условиях системы безопасности сложных объектов в полярных регионах должны одновременно совершенствоваться в следующих направлениях:

- совершенствование подсистем систем безопасности и их компонентов;
- выявление новых видов угроз (на основе «террористического форсайта»);
- оперативное перераспределение рисков в соответствии с изменением обстановки;
- выявление новых возможностей сложных объектов по повышению уровня защищенности на базе совершенствования архитектурно-планировочных и объемно-планировочных решений;
- проведение детального анализа состава нарушителей и выработка целенаправленных, персонифицированных мер по парированию их действий (выработка особых мер по борьбе с внутренним нарушителем-пособником);
- выработка мер противодействия комплексным угрозам и угрозам типа «домино» (на основе анализа сценариев АНВ с участием нескольких групп нарушителей).

Особо необходимо остановиться на таком новом направлении работы, как выработка особых мер по борьбе с внутренним нарушителем-пособником. Актуальность этой работы вызвана тем, что зачастую все теракты совершаются с привлечением пособников из числа сотрудников той организации, на территории которой производится акт незаконного вмешательства или теракт.

Задача состоит не в том, чтобы арестовывать внутренних нарушителей, так же как специалист по борьбе с огнем не должен только гасить пожары. В обоих случаях действия должны иметь превентивный характер. Как специалист по борьбе с огнем оборудует все помещения с целью пожарной безопасности, так и деятельность организации в области информационной безопасности необходимо организовать, учитывая необходимость отсутствия утечки информации.

Форсайт объединяет методы экспертной оценки стратегических направлений деятельности, выявления технологических прорывов, способных оказать воздействие на комплексное решение проблем безопасности объекта, с учетом взаимозависимости многих систем, включая социальную, технологическую, экономическую, экологическую, политическую. Трансформируется системное видение систем безопасности объектов, располагающихся в полярных регионах, в образ желаемого будущего и вырабатывается система их приоритетов и направлений движения с учетом мнения всех заинтересованных сторон. При этом сочетаются инновации и анализ будущего, информация о том, как будут переформировываться и заново создаваться инновационные системы безопасности. Работа над системным проектом безопасного объекта нацелена на рассмотрение будущих возможностей и проблем, связанных с процессом принятия решений в области безопасности и в качестве центрального компонента, включает изучение перспектив развития науки и технологий. В этой области существует множество моделей (с разными целями, которые сложно оценить) дающих некачественные оценки. Проблема решается построением сценариев развития ситуации, позволяющих понять, как формировать эффективные, устойчивые системы комплексной безопасности.

Полученные в системном проекте результаты являются системно-технической основой, обеспечивающей возможность ускоренного и гармонизированного выполнения последующих стадий работ по технорабочему проектированию подсистем системы безопасности объекта.

Ввиду отсутствия в РФ законодательной и нормативно-технической базы, необходимой для формирования комплексной безопасности объектов в области промышленности, транспорта, ЖКХ в полярных регионах, залогом успешности проектов, реализуемых в этой сфере, являются действия, аналогичные, по мере возможности, принимаемым в отношении объектов транспортной инфраструктуры и осуществляемые согласно ФЗ-16 «О транспортной безопасности».

Разрабатываемые системные проекты являются прообразами методик проектирования безопасных сложных объектов, обладают синергическим эффектом, намечают перечень стандартов и нормативных документов. Задача системного проекта – определить в общегражданском общем виде возможные направления проведения АНВ без их детализации с последующей передачей в специализированные организации для последующей антитеррористической проработки.

Основными направлениями формирования эффективных систем безопасности сложных объектов являются: обеспечение адекватности систем безопасности сложных объектов угрозам; разработка систем безопасности, обеспечивающих защиту от возможных угроз; обеспечение требований по защищенности самой системы безопасности сложных объектов.

Формирование облика эффективных систем безопасности сложных объектов обеспечивается высоким качеством экспертизы системных проектов и привлечением к ее проведению широких слоев научно-технического экспертного сообщества, проведением всестороннего анализа нормативно-правовой базы.

Научно-методическая экспертиза результатов работы по анализу уровня безопасности сложных объектов должна производиться с привлечением рабочей группы «Риск и безопасность» при Президенте РАН, научно-техническая – с привлечением Всероссийской академии наук комплексной безопасности и Академии проблем качества, нормативно-правовая – с привлечением общественных советов при Прокуратуре РФ, ФСБ РФ, МВД РФ, общественная экспертиза уровня безопасности важных объектов должна проводиться в форме общественных слушаний в Общественной палате РФ.

В качестве примера необходимо рассмотреть проекты промышленного развития Арктической зоны, развития транспортного комплекса, а также проекты, связанные с обеспечением потребности в соответствующей социальной и инженерной инфраструктуре, которые обуславливают необходимость разработки особого подхода к обеспечению безопасности зданий и сооружений в условиях вечномерзлых грунтов.

Для обеспечения устойчивости и долговечности зданий и сооружений, построенных на вечномерзлых грунтах, требуется соблюдение особых технических правил как в процессе строительства, так и в период эксплуатации.

В субъектах Российской Федерации, находящихся на территории Арктической зоны, отсутствует специализированная служба, контролирующая состояние вечномерзлых грунтов и вызванные ими деформации сооружений. В исключительных случаях осуществляются отдельные обследования строительных конструкций при этом уже практически аварийных объектов.

Для сохранения жилого фонда городов российской Арктики необходимо создать систему мониторинга состояния вечномерзлых грунтов и несущих конструкций зданий и сооружений. Система мониторинга состояния вечномерзлых грунтов – это аппаратно-программный комплекс сбора, хранения и анализа информации о техническом состоянии зданий и сооружений крупных городов Арктической зоны страны, формирующая в виде электронного банка этой информации.

В основе сервиса лежат геоинформационная система, в которой отображены все эксплуатируемые объекты с привязкой к местности, по

каждому объекту доступна вся необходимая проектная информация: детальные чертежи, схемы и другие атрибутивные данные.

Также, в системе будут отображены геодезические данные, которые служат для накопления информации по деформациям объектов и сравнения с моделями устойчивости, что позволит отследить и вовремя выявить опасные процессы, при которых деформации достигают недопустимых значений.

В системе будет предусмотрена программа по расчету конструктивных решений, которая автоматически будет оценивать степень деформации объектов для исключения возникновения аварийной ситуации.

Кроме того, в систему будет интегрирована база данных с набором готовых технических решений, которые будут рекомендованы в соответствии с тем или иным случаем.

Таким образом, программный комплекс позволит:

- сконцентрировать, упорядочить и визуализировать огромный объем данных, полученных в результате мониторинга;
- эффективно управлять этой информацией, используя широкий инструментарий системы: проводить анализ и обработку данных, прогнозы и моделирование;
- на основе полученных результатов принимать рациональные технические решения, направленные на обеспечение условий дальнейшей безопасной эксплуатации объектов.

Использование программного комплекса существенно облегчит формализовать и систематизировать работу с данными мониторинга, а концентрация информации в едином удобном для пользователя сервисе приведет к наиболее эффективному использованию данных в целях безопасности эксплуатации объектов на вечномёрзлых грунтах.

Основные этапы реализации программного комплекса:

- разработка технологии сбора, хранения и анализа информации о техническом состоянии зданий и сооружений;
- разработка электронного банка информации;
- составление алгоритма программного комплекса;
- разработка оболочки и вычислительного ядра программы;
- запуск пилотной системы автоматизированного мониторинга технического состояния зданий и сооружений в городе Анадырь;
- распространение системы в городах Воркута, Игарка, Нарьян-Мар, Певек, Салехард и других.

Аппаратно-программный комплекс позволит объединить и структурировать разнородные данные по одной территории, представляя их в виде упорядоченного информационного массива.

Кроме того, особо ответственные объекты можно будет подключить к автоматизированной системе дистанционного геотехнического мониторинга, работающей в режиме реального времени.

Список литературы

1. Махутов Н.А., Балановский Л.В., Балановский В.Л. Разработка систем электромагнитной безопасности критических объектов // Радио-промышленность. 2011. №2.

2. Махутов Н. А., Абросимов Н. В., Гаденин М. М. Обеспечение безопасности — приоритетное направление в области фундаментальных и прикладных исследований // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2013. № 3 (27).

3. Научные основы прогнозирования и прогнозные показатели социально-экономического и научно-технического развития России до 2030 года с использованием критериев стратегических рисков / Координационный совет РАН по прогнозированию: Н.А.Махутов, Б.Н.Кузык, Н.В.Абросимов [и др.]. М.: ИНЭС, 2011.

4. Махутов Н. А., Гаденин М. М. Техногенная безопасность: Диагностика и мониторинг состояния потенциально опасного оборудования и рисков его эксплуатации: федерал. справочник. информац.-аналит. изд. Т. 26. М.: НП «Центр стратегического партнерства», 2012.

5. Балановский Л.В., Балановский В.Л., Калмыков В.М. Форсайт и дорожная карта: решение проблем электромагнитной безопасности// Качество и жизнь, 2011.

Махутов Николай Андреевич, д-р техн. наук, проф., руководитель РГ «Риск и безопасность» при Президенте РАН, чл.-корр. РАН, kuprikov@russianpolar.ru, Россия, Москва, Российская академия наук,

Куприков Михаил Юрьевич, д-р техн. наук, проф., зав. каф., kuprikov@russianpolar.ru, Россия, Москва, Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет),

Балановский Владимир Леонидович, зам. Председателя комитета Московской торгово-промышленной палаты по комплексной безопасности, президент проблемного отделения «Комплексная безопасность» Академии проблем качества, действ. член АПК и ВАНКБ, kuprikov@russianpolar.ru, Россия, Москва, Академия проблем качества,

Куприков Никита Михайлович, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., директор, kuprikov@russianpolar.ru, Россия, Москва, АНО Научно-информационный центр «Полярная инициатива», Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет)

*ON MODERN APPROACHES TO THE PROCESS OF SHAPING THE APPEARANCE
OF EFFECTIVE SECURITY SYSTEMS FOR COMPLEX FACILITIES IN THE POLAR
REGIONS*

N.A.Makhutov, M.Y.Kuprikov, V.L. Balanovskiy, N.V.Kuprikov

In this article, an integrated approach to the implementation of modern distributed security systems for objects in the polar regions is considered, taking into account combined, integrated risks.

Key words: act of illegal interference, foresight, innovative security systems, system design, stability and durability of buildings and structures, monitoring system, software complex.

Makhutov Nikolay Andreevich, doctor of technical sciences, professor, the corresponding member RAS, head of the WG "Risk and security" under the President of the RAS, kuprikov@russianpolar.ru, Russia, Moscow, RAS,

Kuprikov Mikhail Yuryevich, doctor of technical sciences, professor, kuprikov@russianpolar.ru, Russia, Moscow, Moscow aviation Institute (national research University),

Balanovsky Vladimir Leonidovich, Deputy Chairman of the Committee of the Moscow chamber of Commerce and industry on integrated security, the President of the troubled branches of "Comprehensive security" of the Academy of quality problems and actions. member of APK and BANKB, kuprikov@russianpolar.ru, Russia, Moscow, Academy of quality problems and actions,

Kuprikov Nikita Mikhailovich, candidate of technical science, senior researcher, director, kuprikov@russianpolar.ru, Russia, Moscow, Moscow aviation university (National research university), ANO SRC «Polar initiative»

УДК 539.3; 534.26

О ВЛИЯНИИ НЕПРЕРЫВНО-НЕОДНОРОДНОГО ПОКРЫТИЯ НА ЗВУКООТРАЖАЮЩИЕ СВОЙСТВА ТЕРМОУПРУГОГО ЦИЛИНДРА

Н.В. Ларин

Рассчитаны угловая и частотная зависимости амплитуды рассеянной звуковой волны для однородного термоупругого цилиндра с непрерывно-неоднородным по толщине термоупругим покрытием, находящегося в теплопроводной жидкости. Показано, что с помощью такого покрытия можно изменять звукоотражающие свойства цилиндра. Проиллюстрировано влияние термоупругости материалов цилиндра и его покрытия на рассеяние звука. Получены аналитические выражения для законов неоднородности материала покрытия, обеспечивающих наименьшую интенсивность рассеянного акустического поля.

Ключевые слова: рассеяние звука, цилиндр с покрытием, термоупругий цилиндр, неоднородный термоупругий слой, законы неоднородности.

Показано, что на звукоотражающие свойства цилиндрического слоя может влиять как неоднородность, так и термоупругость его материала [1]. Установлено, что влияние термоупругости материала цилиндра на рассеяние звука обусловлено эффектом связанности полей деформации и температуры в цилиндре [2].

В настоящей работе на основе полученных в [3] решений прямой и обратной задач дифракции плоской звуковой волны на однородном термоупругом цилиндре с покрытием в виде термоупругого цилиндрического слоя с непрерывно изменяющимися по толщине материальными параметрами проводятся численные исследования влияния свойств материалов цилиндра и его покрытия на дифракционную часть акустического поля.

Для бесконечного цилиндра радиуса $r_0 = 1\text{ м}$ с покрытиями толщиной 0.1 м (рис. 1) проведены расчеты амплитуды рассеянной звуковой волны в дальней зоне поля $|F(\varpi, \varphi)|$. Выражение для функции $F(\varpi, \varphi)$, зависящей от волнового размера непокрытого цилиндра ϖ и полярного угла φ цилиндрической системы координат r, φ, z приведено в [3]. Рассматривались алюминиевый цилиндр с плотностью $\rho_0 = 2700\text{ кг/м}^3$, модулями упругости $\lambda_0 = 5.3 \cdot 10^{10}\text{ Н/м}^2$ и $\mu_0 = 2.6 \cdot 10^{10}\text{ Н/м}^2$, температурным коэффициентом линейного расширения $\alpha_T^0 = 25.5 \cdot 10^{-6}\text{ 1/К}$, коэффициентом теплопроводности $\lambda_T^0 = 236\text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$, объемной теплоемкостью $c_\varepsilon^0 = 2.3 \cdot 10^6\text{ Дж/(м}^3 \cdot \text{К)}$ и неоднородные покрытия на основе полимерного материала (поливинилбутираля). Последний имел плотность $\tilde{\rho} = 1070\text{ кг/м}^3$, модули упругости $\tilde{\lambda} = 3.9 \cdot 10^9\text{ Н/м}^2$ и $\tilde{\mu} = 9.8 \cdot 10^8\text{ Н/м}^2$, температурный коэффициент линейного расширения $\tilde{\alpha}_T = 2.3 \cdot 10^{-4}\text{ 1/К}$, коэффициент теплопроводности $\tilde{\lambda}_T = 0.2\text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$, объемную теплоемкость $\tilde{c}_\varepsilon = 1.2 \cdot 10^6\text{ Дж/(м}^3 \cdot \text{К)}$. Источники тепла в цилиндрическом теле отсутствовали.

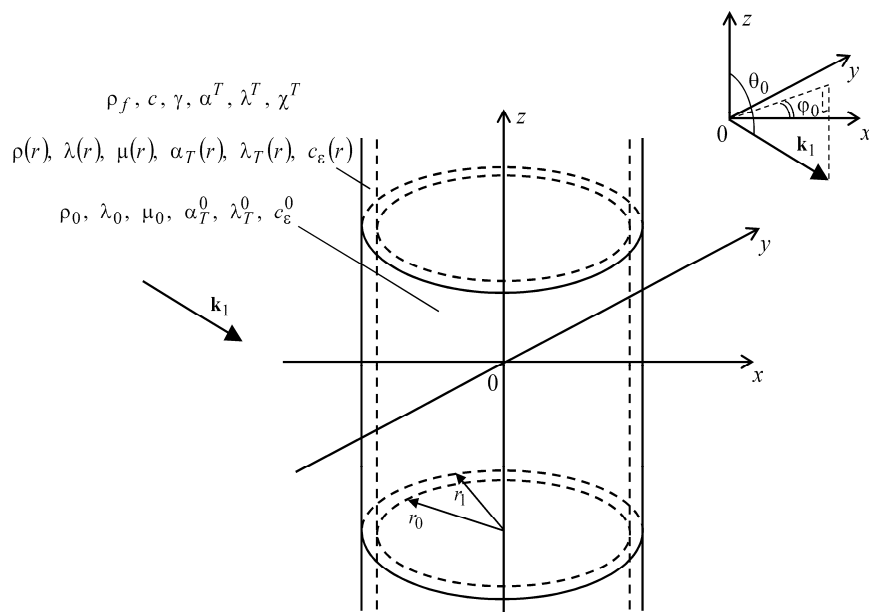


Рис. 1. К задаче о дифракции плоской звуковой волны на термоупругом цилиндре с непрерывно-неоднородным покрытием

При расчетах полагалось, что направление волнового вектора \mathbf{k}_1 падающей на цилиндрическое тело плоской звуковой волны с единичной амплитудой совпадает с направлением оси абсцисс ($\theta_0 = \pi/2, \varphi_0 = 0$), а окружающая тело жидкость – вода с плотностью $\rho_f = 1000 \text{ кг/м}^3$, скоростью звука $c = 1485 \text{ м/с}$, отношением удельной теплоемкости при постоянном давлении к удельной теплоемкости при постоянном объеме $\gamma = 1.006$, коэффициентом температурного расширения $\alpha^T = 2.1 \times 10^{-4} \text{ 1/К}$, теплопроводностью $\lambda^T = 0.59 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$, температуропроводностью $\chi^T = 1.43 \times 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$. Считали, что в невозмущенном состоянии тело и жидкость имеют одну и ту же постоянную температуру $T_0 = 293 \text{ К}$.

Для оценки влияния неоднородности термоупругого материала покрытия на величину $|F(\varpi, \varphi)|$ расчеты выполнялись для цилиндра с покрытиями, плотность материала которых изменялась по толщине слоя по линейному закону:

$$\rho(r) = \tilde{\rho}[1 \pm 5(r-1)], \quad 1 \leq r \leq 1.1.$$

При этом остальные материальные параметры покрытий полагались равными соответствующим характеристикам поливинилбутирала:

$$\lambda(r) = \tilde{\lambda}, \quad \mu(r) = \tilde{\mu}, \quad \alpha_T(r) = \tilde{\alpha}_T, \quad \lambda_T(r) = \tilde{\lambda}_T, \quad c_\varepsilon(r) = \tilde{c}_\varepsilon; \quad 1 \leq r \leq 1.1.$$

Графики функции $\rho(r)$ изображены на рис. 2, а.

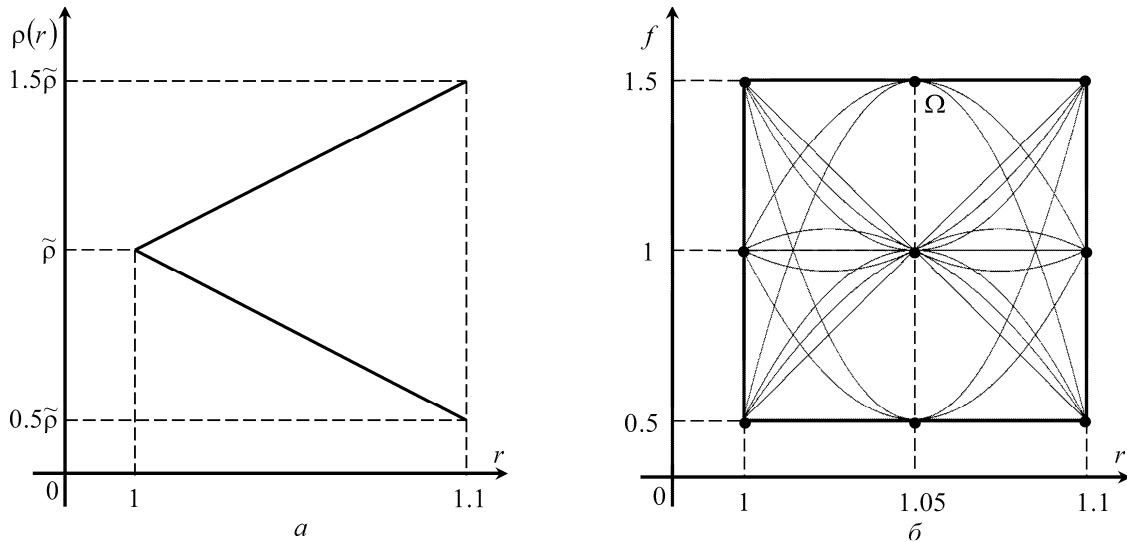


Рис. 2. Графики функции $\rho(r)$ (а) и допустимых функций $\bar{\rho}(r), \bar{\lambda}(r), \bar{\mu}(r)$ (б)

С целью оценки влияния термоупругости материалов цилиндра и его покрытия на рассеяние звука расчеты проводились и для упругого цилиндра с упругим покрытием при изотермическом процессе. При этом рассматривалось покрытие с убывающей по радиусу плотностью.

На рис. 3 Приведём графики зависимости амплитуды рассеяния звука от волнового размера цилиндра ($|F(\varpi, \pi)|$) в интервале $0 < \varpi \leq 10$ (рис. 3, а) и от полярного угла ($|F(9.2, \varphi)|$) в угловом секторе $\pi/2 \leq \varphi \leq \pi$ (рис. 3, б). Стрелкой показано направление падения плоской звуковой волны (рис. 3, б). На рисунке сплошные (штрихпунктирные) линии соответствуют термоупругому покрытию с убывающей (возрастающей) по радиусу плотностью, пунктирные – упругому неоднородному покрытию. Для сравнения на рисунке штриховыми линиями нанесены кривые, рассчитанные для термоупругого цилиндра без покрытия. Видно, что с помощью неоднородного термоупругого покрытия можно изменять звукоотражающие свойства термоупругого цилиндра. При этом графики соответствующие покрытиям с разными законами неоднородности заметно различаются.

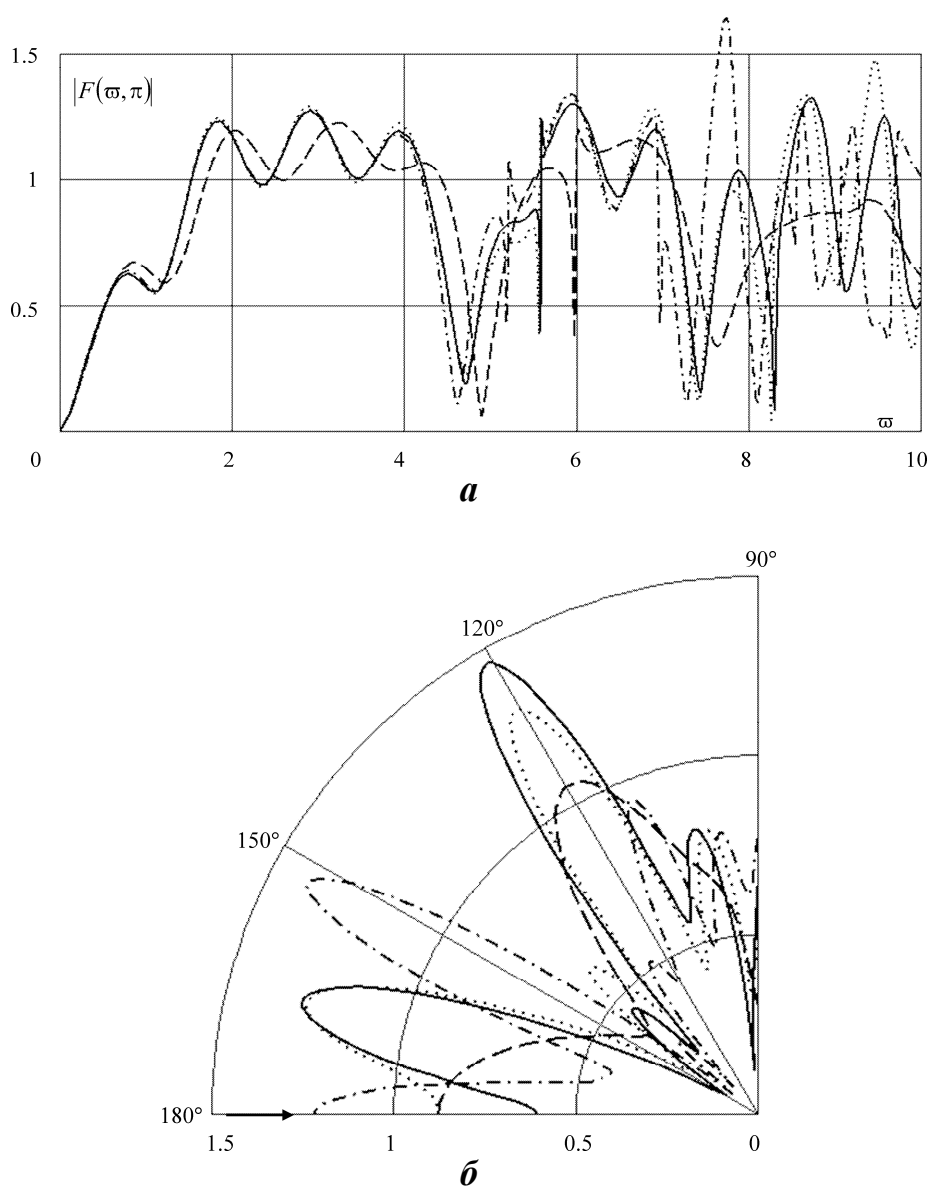


Рис. 3. Зависимость амплитуды рассеяния звука от волнового размера цилиндра (а) и полярного угла (б)

Отличие на рис. 3 кривых, рассчитанных для упругого рассеивателя, от соответствующих кривых для термоупругорассеивателя еще раз подчеркивает важность учета изменения температуры упругого тела при изучении его звукоотражающих свойств.

Для практического применения востребованы покрытия с заданными звукоотражающими свойствами. Отсюда возникает проблема определения законов неоднородности термоупругого материала покрытия по известному акустическому полю, т.е. приходим к необходимости решать коэффициентную обратную задачу.

Ниже представлены результаты численной реализации, приведенного в [3] алгоритма по определению параболических законов неоднородности термоупругого материала покрытия, обеспечивающих наименьшее рассеяние звука в заданном диапазоне частот, определяемом интервалом $\omega_1 \leq \omega \leq \omega_2$, при фиксированном угле наблюдения $\varphi = \varphi_*$, а также в заданном угловом секторе наблюдения $\varphi_1 \leq \varphi \leq \varphi_2$ при фиксированной частоте ($\omega = \omega_*$). Следует отметить, что этот алгоритм является аналогом алгоритма, предложенного в [4, 5] применительно к упругим покрытиям.

При расчетах полагали, что $\omega_1 = 11$, $\omega_2 = 12$, $\varphi_* = \pi$, $\varphi_1 = 3\pi/4$, $\varphi_2 = \pi$, $\omega_* = 11.8$, а в качестве меры рассеяния звука в каждом из заданных интервалов было принято среднее значение интенсивности звукоотражения [3]:

$$I_1 = \frac{1}{\omega_2 - \omega_1} \int_{\omega_1}^{\omega_2} I(\omega, \varphi_*) d\omega; I_2 = \frac{1}{\varphi_2 - \varphi_1} \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} I(\omega_*, \varphi) d\varphi,$$

где $I(\omega, \varphi)$ – интенсивность звукоотражения, $I(\omega, \varphi) = |F(\omega, \varphi)|^2$.

Вычислительный эксперимент проводился для случая, когда неоднородность материала покрытия описывалась зависимостями

$$\rho(r) = \tilde{\rho}\bar{\rho}(r), \lambda(r) = \tilde{\lambda}\bar{\lambda}(r), \mu(r) = \tilde{\mu}\bar{\mu}(r); \quad (1)$$

$$\alpha_T(r) = \tilde{\alpha}_T, \lambda_T(r) = \tilde{\lambda}_T, c_\varepsilon(r) = \tilde{c}_\varepsilon; 1 \leq r \leq 1.1,$$

где $\bar{\rho}(r) = \rho^{(0)} + \rho^{(1)}r + \rho^{(2)}r^2$; $\bar{\lambda}(r) = \lambda^{(0)} + \lambda^{(1)}r + \lambda^{(2)}r^2$; (2)

$\bar{\mu}(r) = \mu^{(0)} + \mu^{(1)}r + \mu^{(2)}r^2$, $\rho^{(q)}, \lambda^{(q)}, \mu^{(q)}$ ($q = 0, 1, 2$) – коэффициенты.

При этом для функций (2), определенных на отрезке [1, 1.1], вводились ограничения

$$0.5 \leq \bar{\rho}(r) \leq 1.5; 0.5 \leq \bar{\lambda}(r) \leq 1.5; 0.5 \leq \bar{\mu}(r) \leq 1.5, \quad (3)$$

которые обеспечивают достаточно широкий диапазон изменения функций $\rho(r)$, $\lambda(r)$, $\mu(r)$, когда максимально возможные значения функций больше минимально допустимых значений в три раза.

Таким образом, для каждой из зависимостей $\rho(r)$, $\lambda(r)$, $\mu(r)$ рассматривались только те соответствующие ей кривые (2), которые лежали в прямоугольной области

$$\Omega = \{(r, f): 1 \leq r \leq 1.1, 0.5 \leq f \leq 1.5\},$$

изображенной на рис. 2, б. Для определения оптимальных законов неоднородности (1), минимизирующих величины I_1 и I_2 , из бесконечного множества таких кривых выделялось конечное подмножество. Для этого в каждой из трех областей Ω , соответствующих неравенствам (3), строилась двумерная сетка с шагами [3]

$$h_{q\rho} = h_{q\lambda} = h_{q\mu} = 0.5, q = 0, 1, 2,$$

отмеченная на рис. 2, б точками. На этих сетках рассчитывались наборы коэффициентов $\rho^{(q)}, \lambda^{(q)}, \mu^{(q)}$, определяющие все допустимые функции (2) для каждой из зависимостей $\rho(r), \lambda(r), \mu(r)$ (см. рис. 2, б).

Нахождение оптимального набора коэффициентов $\rho^{(q)}, \lambda^{(q)}, \mu^{(q)}$ ($q = 0, 1, 2$), минимизирующих функцию девяти переменных

$$I_m(\rho^{(0)}, \rho^{(1)}, \rho^{(2)}, \lambda^{(0)}, \lambda^{(1)}, \lambda^{(2)}, \mu^{(0)}, \mu^{(1)}, \mu^{(2)}) \rightarrow \min, m = 1, 2,$$

осуществлялось с помощью вычислительной процедуры поиска минимума функции многих переменных [3], построенной на основе комбинации методов случайного поиска и покоординатного спуска.

В таблице представлены результаты расчетов искомых коэффициентов.

Оптимальные наборы коэффициентов

$\rho^{(0)}$	$\rho^{(1)}$	$\rho^{(2)}$	$\lambda^{(0)}$	$\lambda^{(1)}$	$\lambda^{(2)}$	$\mu^{(0)}$	$\mu^{(1)}$	$\mu^{(2)}$	I_m
-9.5	10	0	116.5	-215	100	-219.5	420	-200	0.728 ($m=1$)
11.5	-10	0	1	0	0	1	0	0	0.545 ($m=2$)

Из первой строки таблицы следует, что наименьшему обратному рассеянию звука в заданном частотном диапазоне ($11 \leq \omega \leq 12$) со значением $I_1 = 0.728$ соответствует термоупругое покрытие со следующими свойствами:

$$\begin{aligned} \rho(r) &= 1070 \cdot (-9.5 + 10r), \quad \lambda(r) = 3.9 \cdot 10^9 \cdot (116.5 - 215r + 100r^2); \\ \mu(r) &= 9.8 \cdot 10^8 \cdot (-219.5 + 420r - 200r^2); \\ \alpha_T(r) &= 2.3 \cdot 10^{-4}, \quad \lambda_T(r) = 0.2, \quad c_\varepsilon(r) = 1.2 \cdot 10^6. \end{aligned} \quad (4)$$

Заметим, что оптимальные законы неоднородности материала покрытия для разных частотных диапазонов могут существенно различаться. Такой случай показан в работе [5].

Результаты, приведенные во второй строке таблицы показывают, что наименьшее рассеяние звука в заданном угловом секторе наблюдения $3\pi/4 \leq \varphi \leq \pi$ при волновом числе $\omega = 11.8$ со значением $I_2 = 0.545$ достигается при неоднородности материала покрытия, определяемой зависимостями

$$\begin{aligned} \rho(r) &= 1070 \cdot (11.5 - 10r); \lambda(r) = 3.9 \cdot 10^9; \mu(r) = 9.8 \cdot 10^8; \\ \alpha_T(r) &= 2.3 \cdot 10^{-4}; \lambda_T(r) = 0.2; c_\varepsilon(r) = 1.2 \cdot 10^6. \end{aligned} \quad (5)$$

Для количественной оценки эффективности покрытий с оптимальными звукоотражающими свойствами были рассчитаны значения величин I_1 и I_2 для термоупругого цилиндра без покрытия, которые оказались равными 1.259 и 0.733 соответственно. Сравнение значений интегральных характеристик рассеяния звука в дальней зоне поля, рассчитанных для термоупругих цилиндров с покрытием и без него, показывает, что в рассматриваемых диапазоне частот и секторе углов наблюдения покрытие, законы неоднородности которого имеют вид (4) и (5), уменьшает среднее значение интенсивности звукоотражения на 42 и 26 процентов соответственно.

Для иллюстрации эффективности предложенных покрытий проведены расчеты частотной (рис. 4, а) и угловой (рис. 4, б) зависимостей интенсивности звукоотражения для термоупругих цилиндров с покрытием и без него. На рис. 4, а сплошная линия соответствует покрытию со свойствами (4), а на рис. 4, б – покрытию со свойствами (5). Штриховой линией на рисунках нанесены кривые для цилиндра без покрытия. Видно, что во всем исследуемом частотном диапазоне из-за влияния покрытия происходит снижение рассеянного назад акустического поля. Похожая картина имеет место и для рассеяния в большей части рассматриваемого углового сектора. Исключение составляют лишь углы вблизи $\varphi = 140^\circ$, где наличие покрытия у цилиндра приводит к некоторому увеличению интенсивности рассеянного поля.

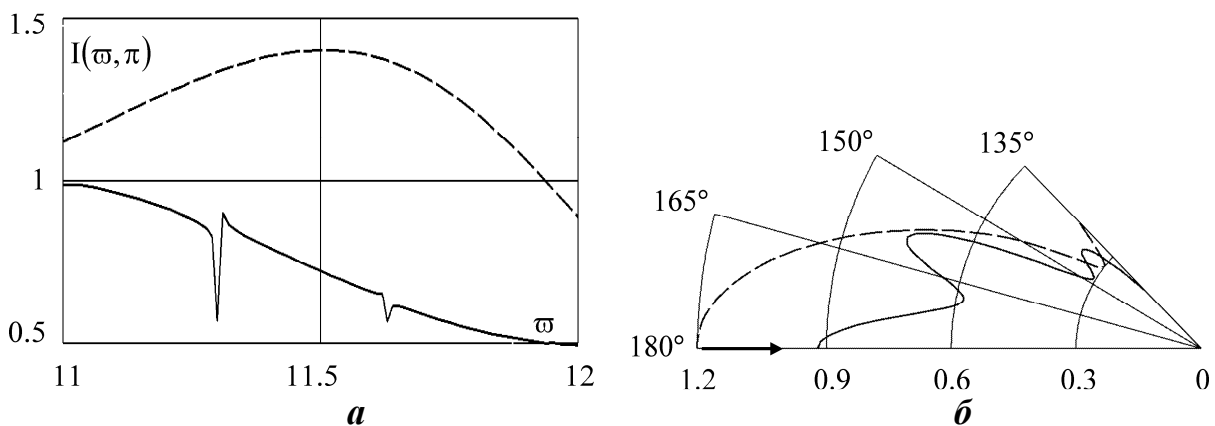


Рис. 4. Зависимость интенсивности звукоотражения от волнового размера цилиндра (а) и полярного угла (б)

В заключение заметим, что изготовление функционально-градиентных покрытий с непрерывно изменяющимися по глубине механическими свойствами технологически сложно. В [5 – 7] проведен вычислительный эксперимент, который показал возможность реализации таких покрытий с помощью системы слоев из однородных материалов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Тульской области (код проекта 16-41-710083).

Список литературы

1. Ларин Н.В., Толоконников Л.А. Дифракция плоской звуковой волны на неоднородном термоупругом цилиндрическом слое, граничащем с невязкими теплопроводными жидкостями // Прикладная математика и механика. 2009. Т. 73. Вып. 3. С. 474–483.

2. Ларин Н.В. Рассеяние плоской звуковой волны однородным термоупругим сплошным цилиндром // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2016. Вып. 7. Ч. 2. С. 191–202.

3. Ларин Н.В. Дифракция плоской звуковой волны на термоупругом цилиндре с непрерывно-неоднородным покрытием // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2017. Вып. 6. С. 154–173.

4. Ларин Н.В., Скобельцын С.А., Толоконников Л.А. Моделирование неоднородного покрытия упругой пластины с оптимальными звукоотражающими свойствами // Прикладная математика и механика. 2016. Т. 80. Вып. 4. С. 480–488.

5. Толоконников Л.А., Ларин Н.В., Скобельцын С.А. Моделирование неоднородного покрытия упругого цилиндра с заданными звукоотражающими свойствами // Прикладная механика и техническая физика. 2017. Т. 58. № 4. С. 189–199.

6. Ларин Н.В., Толоконников Л.А. Рассеяние плоской звуковой волны упругим цилиндром с дискретно-слоистым покрытием // Прикладная математика и механика. 2015. Т. 79. Вып. 2. С. 242–250.

7. Толоконников Л.А., Ларин Н.В. Прохождение звука через термоупругий дискретно-неоднородный плоский слой, граничащий с теплопроводными жидкостями // Прикладная механика и техническая физика. 2017. Т. 58. № 1. С. 108–116.

Ларин Николай Владимирович, канд. физ.-мат. наук, доц., Larinaelen@mail.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет

INFLUENCE OF THE CONTINUOUSLY INHOMOGENEOUS COATING ON THE THERMOELASTIC CYLINDERS SOUND-REFLECTING PROPERTIES

N.V. Larin

In the project we calculated angular and frequency dependences of the scattered sound wave amplitude for the homogeneous thermoelastic cylinder with the thermoelastic coating which is continuously inhomogeneous in its thickness, and provided that the cylinder is located in the heat-conducting fluid. We determined that with the help of this coating it is possible to change the sound-reflecting properties of the cylinder. We showed the influence of

the cylinder material thermoelasticity and its coating on the sound scattering. We obtained analytical expressions for the laws of the coating material inhomogeneity, which provide the least intensity of the scattered acoustic field.

Key words: sound scattering, cylinder with coating, thermoelastic cylinder, inhomogeneous thermoelastic layer, inhomogeneity laws.

Larin Nikolay Vladimirovich, candidate of physical and mathematical sciences, docent, Larinaelen@mail.ru, Russia, Tula, Tula State University

УДК 681.6

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ 3D-ПЕЧАТИ

Я.Р. Голубничая, Н.Е. Проскуряков

Рассмотрены основные этапы висториитрехмерной печати, технологии для создания конкретного объекта по его 3D-образцу, вопросы экономической целесообразности использования 3D-принтеров.

Ключевые слова: аддитивнопроизводство, 3D-печать, 3D-принтер, стереолитография.

Процесс трехмерной печати является непрерывным повторяющимся циклом изготовления конкретного объекта по его 3D-образцу на специальном 3D-принтере. Объемная модель заданного объекта создается при помощи компьютерной программы обычно в формате STL (англ. «stereolithography») и после этого передается на печатающее устройство.

Разработка аддитивного производства (добавления материала при изготовлении) началась в 80-х годы XX в., когда компания 3DSystems под руководством Ч. Халла начала использовать способ создания объекта на печатающем устройстве при помощи цифровых данных. Ч. Халл является основателем лазерной стереолитографии (SLA), а его фирма в 1988 году выпустила в производство усовершенствованную версию первого 3D-принтера - SLA-250. Первый монохромный 3D-принтер, работающий методом наплавления (FDM), был выпущен компанией Stratasys, созданной С. Крампом. Первый 3D-принтер для цветной печати SpectrumZ510 представила компания ZCorporation в 2005 году. В 2009 году появились 3D-принтеры для домашнего использования - CupCakeCNC от MakerBotIndustries. Они были достаточно простыми и печатали только небольшие объекты (рис. 1) [1].



Рис. 1. 3D-принтеры (1988, 2005 и 2009 гг.)

3D-принтер функционирует аналогично обычному принтеру за исключением того, что из печатающей головки на платформу последовательно подается материал для изготовления модели со связующим веществом. Материал твердеет, и формируется готовое изделие. В процессе работы принтера платформа перемещается ниже на уровень выращенного слоя, лишний материал удаляется с рабочей поверхности (рис. 2). Печатная головка движется по горизонтали (оси X и Y). Толщина слоя материала задается по вертикали (ось Z).

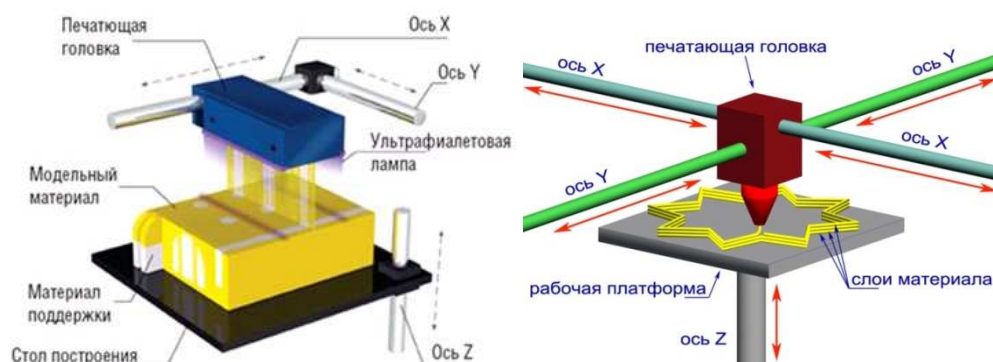


Рис. 2. Общая схема 3D-принтеров

После окончания печати готовое изделие извлекается. Материал, не вступивший в контакт со связующим веществом, можно использовать повторно. Для аддитивного процесса может применяться разнообразное сырье: металлы, бумага, пластмассы, полимеры, минералы и т.д. Разработаны принтеры, которые в процессе производственного цикла одновременно используют несколько различных веществ, в том числе и разноцветных[2].

Аддитивные технологии непрерывно модифицируются и совершенствуются, различия между ними состоят в способах создания и соединения слоев. Рассмотрим наиболее широко использующиеся методы.

Фотополимеризационная стереолитография (SLA) позволяет быстро получить заданную фигуру с помощью жидкого фотополимера, который затвердевает при направлении на него лазерного пучка (рис. 3, а). Большим

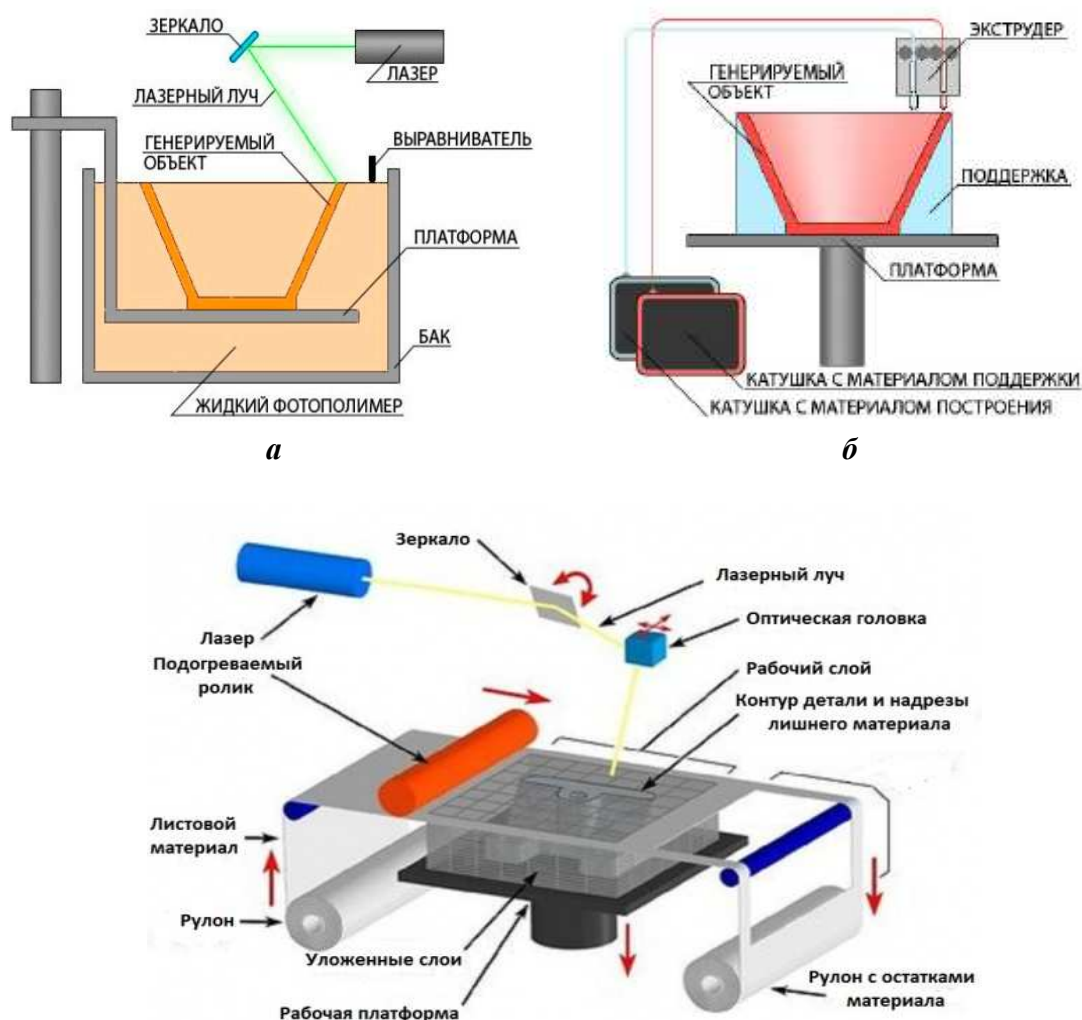
потенциалом обладает цифровая светодиодная проекция (DLP). В данном случае применяется фотополимерная смола, застывающая под УФ-излучением.

При экструзии, то есть выдавливании (FDM), изделие наплавляется из расплавленной термопластиковой нити, застывающей при охлаждении и принимающей заданную форму (рис. 3, б).

Метод избирательного лазерного спекания (SLS) позволяет получать формы из порошков металла, пластика и керамики, которые плавятся под воздействием лазера.

Генерируя электронные импульсы при использовании такого способа, как электронно-лучевая плавка (EBM), можно получить высокопрочные монолитные металлические детали путем послойной плавки порошкообразных материалов в вакуумной среде[3].

Трехмерные объекты также могут изготавливаться способом ламинирования (LOM) – слои материала накладываются послойно и склеиваются между собой, а нужный контур в них вырезается (рис. 3, в).



6

Рис. 3. Схемы принтеров: SLA (а), FDM (б) и LOM (в) [4, 5]

Преимущества трехмерной печати являются изготовление нужных деталей быстро (без промежуточных этапов), с малым количеством отходов. Это в свою очередь приводит к снижению расхода материалов. Также можно изготовить деталь с высокой точностью, любой конфигурации и размера, практически из любого вещества – пластика, полимера, минерала, керамики, металла, стекла (а также их комбинации). Необходимо отметить доступность и дешевизну пластика, что широко востребовано в различных отраслях производства. Объемная печать может с успехом заменить такие производственные процессы как литье или штамповка, поскольку не требует предварительного изготовления форм, шаблонов и трафаретов (рис. 4). Аддитивный производственный процесс способствует кастомизации - он предоставляет возможность ориентироваться на индивидуальных потребителей и выпускать уникальную продукцию. Заказ может быть выполнен в короткий срок (1-2 дня).

К недостаткам 3D-производства можно отнести дороговизну металлических и керамических расходных материалов, оборудования, значительные размеры используемых устройств, низкую производительность. В некоторых случаях невозможно сочетать одновременно различные материалы, производить цветную печать.

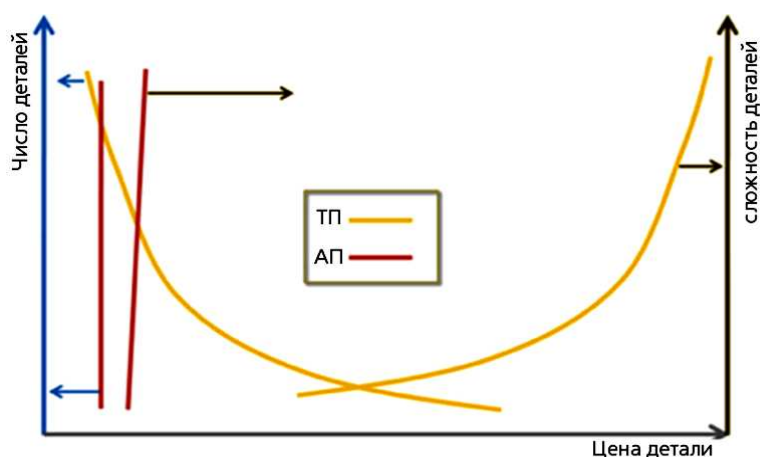


Рис. 4. Сравнение рентабельности при аддитивном (АП) и традиционном (ТП) производствах

Определяющими факторами при подборе печатающего оборудования являются стоимость 3D-устройства и материалов, себестоимость продукции, возможность принтера осуществлять быструю печать. Цена на данный вид печати складывается из нескольких показателей: затраты на принтер и его обслуживание, на необходимые расходные материалы, аренду помещения и электроэнергию, заработную плату для обслуживающего персонала, работу с допечатным эскизом объекта, а также прибыль. Расчет себестоимости готового изделия должен учитывать дополнительные затраты расходных материалов, связанные с напечатанными поддержками и подложками, которые потом придется удалить.

Вид и цена материала напрямую зависит от используемого на производстве 3D-устройства. В частности, стоимость одного картриджа с пластиком для FDM-принтера может колебаться от 900 до 2 300 руб. и выше за 1 кг в зависимости от свойств пластика, диаметра и длины нити, а цена готового изделия - от 20-30 руб. за 1 г в соответствии с точностью печати (200 мкм, 100 мкм). Примерная цена жидкого фотополимера для SLA-принтеров равна 4 000 руб. за 1 л, стоимость изготовленной продукции рассчитывается от 100 руб. за 1 см³. Расходы на материалы для производства в среднем составляют всего 12 % от себестоимости изделий, затраты на печатное оборудование колеблются от 45 до 75 %. Стоимость профессионального полноцветного принтера может составлять от 15 до 130 тыс. долл. Наиболее доступными по цене являются FDM-принтеры – устройства для домашнего использования возможно приобрести за 2...4 тыс. долл. С течением времени стоимость 3D-принтеров и их эксплуатации снижается, что приводит к снижению себестоимости выпускаемой продукции.

Экономически выгодно использовать 3D-печать для изготовления прототипов и образцов, а также сложных по форме деталей или изделий, выпускаемых небольшими партиями [6].

3D-печать находит свое применение в различных отраслях – в строительстве и архитектуре, машиностроении, промышленности (тяжелой, легкой, пищевой, нефтегазовой), производстве самолетов и космических ракет, автомобиле- и судостроении, биомедицине, стоматологии, радиотехнике, электронике, моделировании одежды, ювелирном деле, науке, искусстве, образовании и др. Около 80% всей выпускаемой с помощью трехмерной печати продукции - это прототипы и опытные образцы, мелко-серийное производство, товары медицинского назначения (протезы, импланты), макеты зданий и сооружений, ювелирные изделия. 20% приходится на потребительские товары. 3D-печать обладает большим потенциалом и возможностями. Учитывая это, можно предсказать высокую востребованность и перспективность технологий аддитивной печати.

Среднегодовой темп роста данного рынка превышает 25%, ожидается, что через 5...10 лет его вклад в мировую экономику ежегодно будет составлять от 200 до 600 млрд долл. Снижение стоимости трехмерных принтеров приведет к массовому использованию данной технологии. Поэтому одной из ближайших задач является уменьшение цены на 3D-печатное оборудование.

Список литературы

1. Качество 3D-принтеров и перспективы их эффективного применения [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <http://refleader.ru/jgernayfsqasotr.html> (дата обращения 25.09.2017).

2. Михайлова А.Е., Дошина А.Д. 3D-принтер — технология будущего // Молодой ученый. 2015. №20. С. 40-44.

3. Аддитивное производство [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <http://www.3d-format.ru/catalog/additive/> (дата обращения: 28.09.2017).

4. Баева Л.С., Маринин А.А. Современные технологии аддитивного изготовления объектов // Вестник МГТУ. 2014. Т. 17. № 1. С. 7-12.

5. 3D-печать для «чайников» или «что такое 3D-принтер?» [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: http://3dtoday.ru/wiki/3dprint_basics (дата обращения: 08.10.2017).

6. Конников Е.А. Экономические аспекты конверсии производственных технологий // Молодой ученый. 2015. № 15. С. 385-391.

Голубничая Яна Романовна, магистрант, yana_tula@mail.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет,

Проскуряков Николай Евгеньевич, д-р техн. наук, проф., vippne@mail.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет

THE PROMISING TECHNOLOGY OF 3D-PRINTING

Y.R. Golubnichaya, N.E. Proskuriakov

The article describes on the main stages in the history of three-dimensional printing and technology to create a specific object in its 3D model, questions of the feasibility of using 3D printers.

Key words: additive production, 3D-printing, 3D-printer, stereolithography.

Golubnichaya Yana Romanovna, postgraduate, yana_tula@mail.ru, Russia, Tula, Tula State University,

Proskuriakov Nikolay Evgenevich, doctor of technical sciences, professor, vippne@mail.ru, Russia, Tula, Tula State University

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЙ РЕСУРС СИЛЬФОННЫХ КОМПЕНСАТОРОВ

С.А. Глебович

Показано значение определения эксплуатационного ресурса сильфонных компенсаторов. Цель работы – установить, насколько важно знать эксплуатационный ресурс сильфонных компенсаторов. Стремительное развитие техники активизирует потребность разработки и производства большого числа разных конструкций арматуры с целью наиболее разнородных условий работы. Диапазоны температур, давлений, вязкостей и прочих свойств, используемых различных сред, в которых функционирует арматура, постоянно расширяются, поэтому проблем, несмотря на огромное число производимых экспериментальных и теоретических исследований, становится все больше. Конструктор обязан, прежде всего, учитывать обстоятельства работы арматуры и гарантировать надёжность конструкции. Для того чтобы изделие было пригодным к использованию, его необходимо грамотно спроектировать и рассчитать его рабочий ресурс.

Ключевые слова: компенсатор, сильфон, давление, ресурс, трубопровод, эксплуатационный, рабочий, температура, цикл.

Техническая модернизация трубопроводов в нефтегазовой области с целью увеличения их надёжности и сокращения затрат на сооружение и использование в настоящее время не утратила собственной актуальности. Значимым резервом сокращения капитальных расходов, увеличения надёжности работы трубопроводов и оборудования является использование в них специализированных устройств для компенсации температурных деформаций. В последние годы для этих целей начали использоваться сильфонные компенсаторы, имеющие существенные технико-экономические преимущества перед компенсирующими устройствами прочих видов. Они не только компенсируют изменения длин трубопроводов из-за перепада температур, но и осуществляют прочие значимые функции [2, 4].

Металлические сильфоны находят обширное употребление в промышленности при решении всевозможных промышленных вопросов. Они применяются в качестве гибких чувствительных составляющих в устройствах разного назначения, осуществляют функции компенсаторов тепловых расширений трубопроводов, разделителей сред, герметичных уплотнителей и др. В нефте- и газопроводах используются многочисленные типы сильфонных компенсаторов – осевые, сдвиговые, угловые, универсальные [1,3].

Особенный интерес представляют задачи обеспечения безопасности эксплуатации разнородных соединений сильфонных компенсаторов с трубопроводами. Для подобных соединений характерна выраженная разнородность качеств, обусловленная диффузионными и закалочными действиями при сварке и эксплуатации[1].

Конструктивное выполнение сильфонов может быть различным. Однако наиболее широко применяются бесшовные сильфоны, изготовленные из однослойных тонкостенных трубок (рис. 1, а). Для увеличения прочности, а также для защиты от агрессивных сред применяют многослойные сильфоны. Также используют сварные сильфоны, изготовленные из штампованных кольцевых мембран (рис. 1, б) [1]

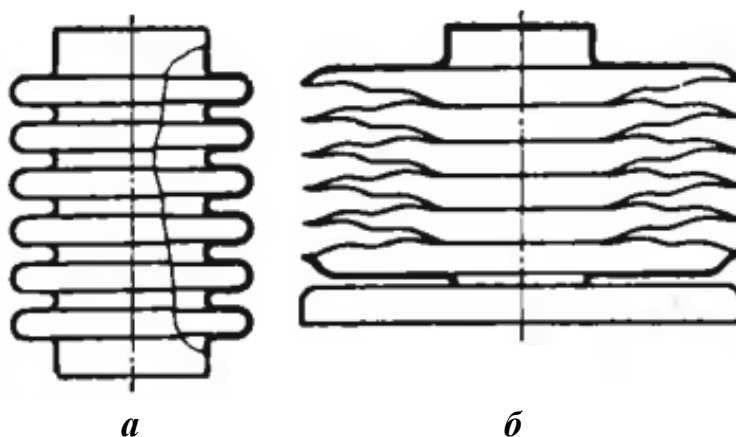


Рис.1. Сильфоны: а - бесшовный; б - сварной

Сильфоны представлены крайне ответственными компонентами устройств. Период работы и надёжность сильфонов, как норма, обуславливается сроком службы и надёжностью работы устройств и изделий в целом. Особенное внимание уделяется в настоящее время проблемам расчёта и проектирования сильфонов [1,3].

Изготовление более пригодных сильфонных компенсаторов, которые имели бы возможность вынести давление в системе и обладать наибольшим сроком эксплуатации, зависит от устройства сильфона и подбора материала[5].

Для невысоких и средних значений давления и температуры сильфоны могут быть однослойными, а при их применении в условиях высоких температур и давлений они должны быть двухслойными. Это объясняется тем, что гибкий участок перераспределяет напряжённость по слоям, уровень напряжений в многослойных сильфонах значительно ниже, чем в однослойных сильфонах.

Толщина стенки сильфонов определяется в результате расчётов. Сопротивление материала, вид гофры и ее диаметр, а также слой стенки сильфона формируются в соответствии с длиной сильфона. Согласно критерию повышения величины расширения противодействие гибкой части убавляется, а способность к изгибу возрастает [5].

Одним с главных параметров работы сильфонного компенсатора является рабочий ресурс, установленный числом циклов работы, которые он имеет возможность вынести до разрушения. С целью контроля изделий на надёжность проводят технически сложные проверки образцов продукта.

В первую очередь нужен безошибочный расчёт всех технических характеристик, напрямую воздействующих на надёжность и долговечность сильфона, которые имеют высокие статистические характеристики корреляции с экспериментальными значениями. Для наиболее чёткого расчёта напряжённого состояния имитируют и адаптируют для компьютерной реализации схемы сильфона, изготовленные различными методами. Компенсаторы проверяют гидравлическим способом[6].

Эксплуатационный ресурс металлических сильфонов зависит с различных рабочих обстоятельств, таких, как высокая температура и высокое давление. Даже при подобных условиях очень маловероятно, чтобы сильфоны разрывались. Тем не менее, чтобы устранить это, изготавливают сильфоны с десятикратным резервом прочности относительно номинального давления.

Ресурс сильфонных компенсаторов составляет 5000 циклов при условии службы в пределах возможных уровней смещения. Эксплуатационный ресурс зависит от превышения максимальных значений смещения. Для установления ресурса сильфонных компенсаторов проектанты должны выполнить правильный расчёт и принимать во внимание специфику рабочих условий [5].

Можно выделить ряд факторов, условий, оказывающих большое влияние на эксплуатационный ресурс, которые должны быть пересмотрены индивидуально при подборе соответственного вида сильфонного компенсатора.

Это следующие факторы:

- температура;
- величина смещения;
- рабочее давление;
- предварительное растяжение;
- продолжительность цикла напряжений;
- гидроудар и повышение давления;
- термический удар;
- коррозия.

Рабочая температура является одним с более значимых условий, которые оказывает большое влияние на эксплуатационный ресурс. Сопротивление материалов меняется обратно пропорционально увеличению температуры. Данное требование следует принимать во внимание при установлении номинального давления.

Величина компенсации является ещё одним не меньше значимым условием, как и температура. Все сильфонные компенсаторы производятся в расчёте на 5000 циклов при абсолютном рабочем процессе; если сильфоны функционируют в обстоятельствах неполного хода, в таком случае это может обозначать, что сильфонный компенсатор функционирует с превышением 5000 рабочих циклов. В ходе проектирования, если необходим бо-

лее продолжительный действующий ресурс компенсатора, допустимое число смещений должно быть больше. Этого можно достичь, подобрав сильфонные компенсаторы из класса наиболее высоких давлений либо с большим, чем обычное число, количеством гофр.

Давление меньше, чем номинальное, оказывает положительное воздействие на источник работы компенсатора. Согласно критерию сокращения рабочего давления эксплуатационный ресурс возрастает.

Сильфонные компенсаторы устанавливаются в трубопроводах с предварительным растяжением. Такого рода способ предоставляет возможность компенсаторам действовать в границах возможных смещений более продуктивно[5].

Приведённая на рис. 2 диаграмма может помочь определить, как изменяется эксплуатационный ресурс, когда сильфонный компенсатор работает при разных степенях расширения. Видно, что сильфонный компенсатор достигает 8800 рабочих циклов при условии работы с 50%-й степенью расширения, с другой стороны, если степень расширения превышает установленное значение на 20% (120%), то эксплуатационный ресурс сокращается до 2350 циклов.

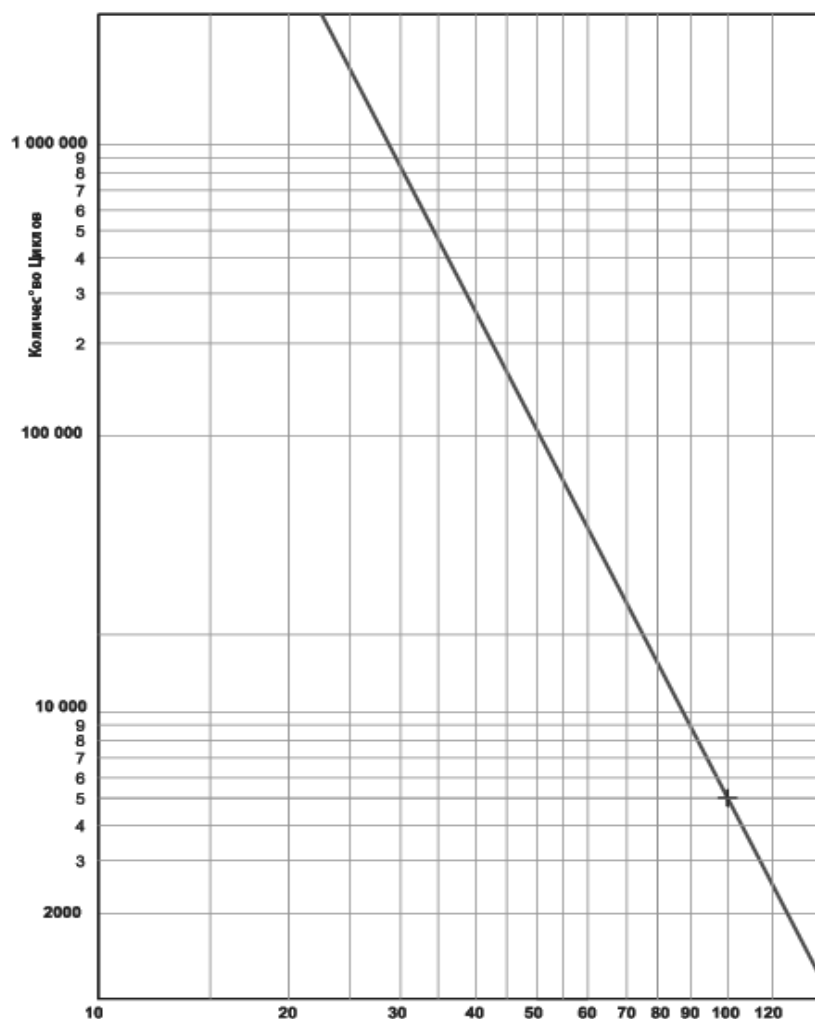


Рис.2. Эксплуатационный ресурс сильфонного компенсатора

Пока влияние напряжений происходит в границах возможных значений, колебание цикла напряжений никак не провоцирует значимого изменения в системе, кроме определённых специальных ситуаций. В случае если сильфонный компенсатор применяется во избежание вибрации, смещения никак не достигают наибольшего значения, и это не накладывает практически никаких ограничений на ресурс системы.

Рабочее давление сильфонного компенсатора должно формироваться, отталкиваясь из наибольшего давления, что появляется в ходе работы системы. Если установить максимальное давление возможно, в таком случае рекомендовано подобрать сильфонный компенсатор из верхнего класса давления.

Насосы могут спровоцировать скачки давления, а стремительное закрытие клапанов может послужить причиной увеличения давления. Влага, которая конденсируется в трубопроводах, может послужить причиной ударов при перезапуске. В данных случаях, во избежание вероятных неисправностей в трубопроводе, рекомендовано использовать многослойные сильфонные компенсаторы.

Кратковременные тепловые перемены, и в особенности чрезмерное увеличение и упадок температуры, увеличивают усталость материала быстрее, чем в обычных обстоятельствах. Временами проблема может быть разрешена с помощью применения предохранительной оболочки. Для конструкций, по которым транспортируются газообразные и твёрдые вещества, доступны, кроме того, собственные специализированные методы.

Материалы для сильфонных компенсаторов должны быть отобраны в согласовании с жидкостями, текущими через трубопроводы. В другом случае со временем может появиться ржавчина материала. Для того чтобы избежать дефектов, необходимо принимать во внимание в том числе и коррозионное влияние моющих средств [5].

Таким образом, сильфонные компенсаторы являются продуктами высокого уровня технической разработки и выполняют весьма значимые задачи при установке в трубопроводах. Следовательно, их следует постоянно подвергать испытанию и контролировать.

Долговечность сильфона обуславливается числом циклов, которые он имеет возможность произвести вплоть до разрушения. Порча сильфона вызывается зачастую напряжениями, которые неоднократно появляются на сгибе материала. Разрушение зависит от величины этих напряжений. Напряжения в сильфоне формируются функционирующим давлением среды и прогибом сильфона.

Знать эксплуатационный ресурс сильфонных компенсаторов важно. Точный расчёт сильфонных компенсаторов и последующая правильная их установка даёт возможность в два раза уменьшить нагрузку на трубопровод, при этом значительно возрастает его рабочий ресурс. Помимо этого, благодаря установке таких компенсаторов значительно возрастает период работы трубопроводов и понижается возможность происхождения аварийных ситуаций. Погрешности в работе при конструировании и изготовлении

сильфонного компенсатора могут послужить причиной к нежелательным последствиям при его эксплуатации. Имеются и используются аналитические способы расчёта сильфонов. Необходимо иметь в виду, что формулы и графики предоставляют приближенные величины жёсткости и прочности и на практике могут иметь место отклонения от приобретённых расчётным путём данных. При назначении сроков службы СК необходимо также принимать во внимание климатологические данные, тип прокладки и конструктивные особенности компенсаторов.

Список литературы

1. Андреева Л.Е. Сильфоны. Расчёт и проектирование. М.: Машиностроение, 1975.
2. Болотин В. В. Динамическая устойчивость упругих систем. М.: Гостехиздат, 1956.
3. Бурцев К.Н. Металлические сильфоны. М.; Л., Машгиз, 1963.
4. Гуревич Д.Ф. Расчёт и конструирование трубопроводной арматуры: расчёт трубопроводной арматуры. 5-е изд. М.: ЛКИ, 2008.
5. Сильфонные компенсаторы. [Электронный ресурс]. URL <http://santermo.ru/> (дата обращения: 14.09.2017).
6. Испытания сильфонных компенсаторов. [Электронный ресурс] URL <http://ros-pipe.ru/> (дата обращения: 14.09.2017).
7. Эксплуатация сильфонных компенсаторов. [Электронный ресурс] URL <http://skyprom.ru/> (дата обращения: 14.09.2017).

Глебович Станислав Александрович, асп., stivgl@mail.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет

SERVICE LIFE OF BELLOWS EXPANSION JOINTS

S. A. Glebovich

This paper describes the importance of determining the service life of bellows expansion joints. The aim of this work is to find out how important it is to know the service life of bellows expansion joints. The rapid development of technology will intensify the need for the development and production of a large number of different designs of valves for the most diverse working conditions. Temperature ranges, pressures, viscosities and other properties used by the various media, which operates the valves, is constantly expanding, so the number of difficulties, despite the huge number of produced experimental and theoretical studies, is increasing all the time. The designer must take into account the circumstances of valve and ensure the reliability of the design. That products were suitable for consumption, it is necessary to properly design and calculate its working life.

Keywords: compensator, bellows, pressure, resource, pipeline, operational, working, temperature, cycle.

Glebovich Stanislav Aleksandrovich, postgraduate, stivgl@mail.ru, Russia, Tula, Tula state university

ПРОФИЛЬНЫЕ И ПРОФИЛИРОВАННЫЕ ЗАГОТОВКИ В СОВРЕМЕННОМ ЛИСТОШТАМПОВОЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

А.Н. Малышев, С.А. Бысов

Посвящена обзору ряда наиболее распространённых видов заготовок в листоштамповочном производстве, проектирование и расчет которых, а также построение схем деформирования требуют специального научного подхода. Приведены схемы построения профильных заготовок с учетом анизотропии материала, а также схема прокатки профилированных заготовок; описаны штамповочные операции и виды деталей, для которых используются эти заготовки.

Ключевые слова: штамповка, профильные заготовки, профилированные заготовки.

Современное листоштамповочное производство является одной из ресурсо- и энергосберегающих технологий машиностроения, позволяющих изготавливать детали повышенной сложности и стабильного качества как из металлов и их сплавов, так и из неметаллических материалов, которая предъявляет определённые требования к исходным заготовкам по геометрическим параметрам, свойствам материала и виду их предварительной обработки, которая необходима для изменения и управления анизотропными и механическими характеристиками заготовок посредством новых технологических операций и процессов штамповки с их предварительным деформированием, что позволяет увеличить поверхность и экономить материал заготовки[1].

При проектировании заготовки в процессе создания нового технологического процесса или изменении ее размеров или формы при совершенствовании существующего, безусловно, необходимо стремиться приблизить размеры и форму исходной заготовки к размерам и форме готовой детали, т.е. сократить материалоемкость заготовительного производства, что, в свою очередь, приведет к снижению себестоимости и всего штампованного изделия в целом.

Анализ научной литературы и производственные данные показывают, что наряду с использованием в качестве заготовок уже ставших классическими «карточек» и «силуэтов» существует ряд случаев, требующих специального научного подхода к проектированию исходных заготовок с учетом анизотропии материала в состоянии поставки, эксплуатационных требований к детали или изделию в целом, особенностей разделительных и формоизменяющих штамповочных операций, требований к ценообразованию штампованной детали и ряда других технологических особенностей процесса штамповки.

В качестве примера, где требуется специальный научный подход для проектирования заготовки, следует рассмотреть результаты работы [2], где разработан метод построения оригинальной профильной заготовки (рис.1, а) с учетом анизотропии материала, обеспечивающий вытяжку стаканов из анизотропного материала практически без таких дефектов, как «фестоны», которые присущи операции «вытяжка», что сводит к минимуму объем окончательной механической обработки. Размеры R_x и R_z определяют минимальный и максимальный размеры профильной заготовки, при вытяжке которой через вытяжную матрицу с радиусом R_M фестонообразование отсутствует. В исследовании [3] на основе анализа деформированного состояния установлено, что плоская деформация во фланце заготовки реализуется по контуру криволинейной поверхности, радиус которой определяется величиной показателей плоскостной анизотропии, а также уточнена и упрощена формула для определения размеров заготовки, исключающей фестонообразование.

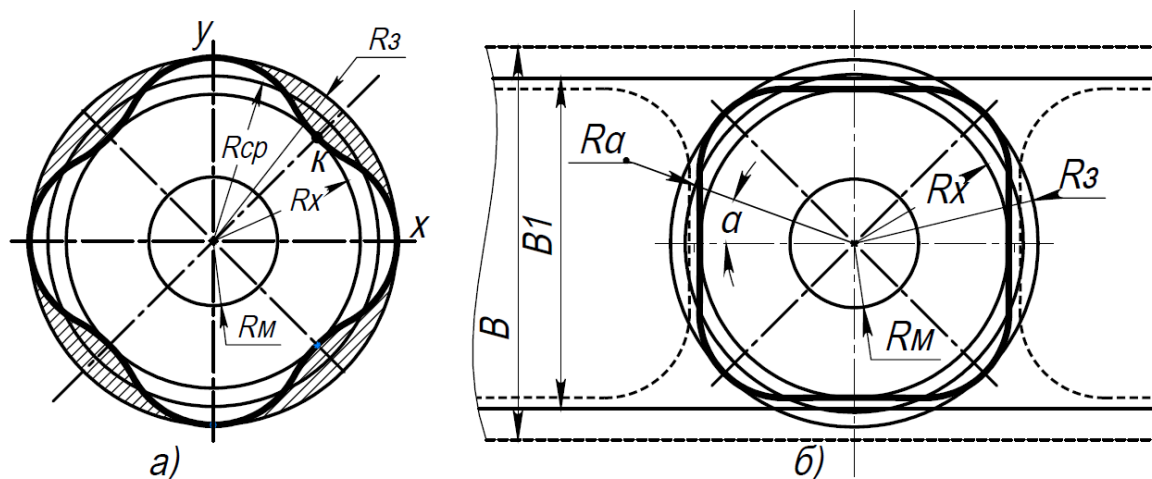


Рис.1. Схемы построения профильной заготовки

Известна работа [4], в которой рассмотрена схема построения профильной заготовки (рис.1, б) с учетом влияния плоскостной анизотропии (R_α – радиус-вектор точки контура заготовки относительно направления прокатки, B – ширина рулона по классической технологии, B_1 – ширина рулона с учетом формы профильной заготовки); а также работа [5], где проведен анализ зависимости предельного коэффициента вытяжки от формы заготовки, получена оценка изменения толщины детали при переходе от круглой к фигурной заготовке, а также установлено, что при проектировании технологических процессов вытяжки из фигурной заготовки можно использовать предельные коэффициенты вытяжки для круглых заготовок с пересчетом предельного коэффициента вытяжки. Например, штамповку из восьмиугольной заготовки можно проводить при предельных коэффициентах вытяжки, полученных для круглой заготовки.

В исследованиях [6] и [7] вытяжки цилиндрических деталей из профильных заготовок с помощью моделирования процесса методом конечных элементов на базе программного комплекса QForm3D/2D для повышения коэффициента использования материала предложено использовать квадратные и шестигранные заготовки большей толщины, которые осаживаются в круглую матрицу для получения круглых заготовок требуемых размеров и толщины, а также установлена экономически целесообразная область применения указанной технологии.

В экспериментальном исследовании [8], проведенном в прессовом цехе АЗЛК и прессовом корпусе ЗИЛа, предложено для увеличения коэффициента использования материала технологический припуск по краям заготовки выполнить фигурным с одного или нескольких краев заготовки, в виде чередующихся друг за другом выступов и впадин без изменения габаритных размеров заготовки. Были выполнены эксперименты для «крыла заднего» и «панели двери наружной задней» автомобиля «Москвич», а также для «панели двери внутренней», «облицовки радиатора» и «панели приборов» автомобилями ЗИЛ-130 и ЗИЛ-131, которые показали экономию листового материала на 3-5% больше по сравнению с известными способами вытяжки из заготовок в виде «карточек» или «силуэтов».

По вышеописанной технологии в условиях действующего производства на предприятии ООО «АВТОЛИТ» (г. Калуга) выполнена исследовательская работа по сопровождению технологической подготовки производства детали «Корпус защитный» (таблица). Процесс штамповки реализован на штамповочном комплексе на базе листоштамповочного многопозиционного прессы AIDA FT2-40 номинальным усилием 4000кН с перемещением детали (заготовки) между штамповочными позициями грейферными линейками в штампе последовательного действия, имеющем пять позиций для реализации формообразующей и разделительных операций, указанных в таблице. Экспериментально установлено, что использование заготовок с фигурными краями целесообразно внедрять при изготовлении деталей штамповкой из рулона в штампах последовательного действия-при перемещении детали (заготовки) между операциями посредством грейферных линеек или трансферного механизма; либо при использовании комплекта («цепочки») штампов, где первый заготовительный штамп имеет фигурные отрезные ножи. Кроме того, экономия по сравнению с использованием заготовок с прямолинейными краями составила 5% исходного материала и может варьироваться в зависимости от геометрических параметров фигурных кромок.

Развитие технологий сталепрокатного производства позволило выделить в прокатке такое отдельное прогрессивное направление как прокатка профилированных заготовок (рис.2), где холоднокатаную полосу, которая имеет различную по длине толщину, получают посредством изменения зазора между валками в процессе прокатки металла [9].

Технологические операции в штампе последовательного действия для изготовления детали «Кожух защитный»

	Операция «отрезка»	Операция «вытяжка»	Операция «обрезка»	Операция «обрезка»	Операция «пробивка»
вид сверху					
фотоснимок					

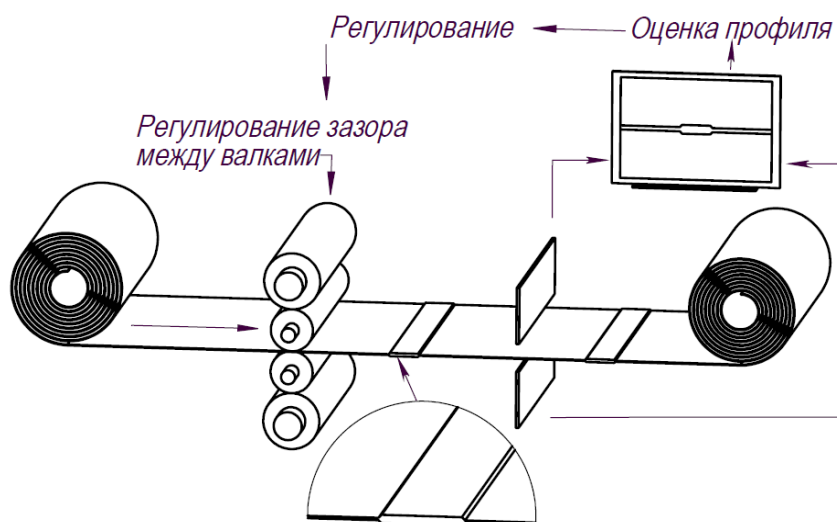


Рис.2. Схема прокатки профилированной полосы

Катаные профилированные заготовки интенсивно начинают применяться в автомобильной промышленности [10], используются как заготовки для деталей жесткости кузова, различного рода усилителей, кронштейнов и т.д., и в определенных случаях становятся альтернативой сварным-разнотолщинным заготовкам [11], которые уже серьезно зарекомендовали себя в автомобильной и аэрокосмической промышленности [12].

Полосы с переменной по длине толщиной широко используются в качестве заготовок для производства малолистовых рессор автомобилей и других транспортных средств. Как правило, заготовки имеют параболический профиль с односторонним периодическим контуром. При этом толщина их уменьшается по заданной зависимости от середины к концам, приближая тем самым по условиям работы профилированную полосу к балке равного сопротивления [13].

Современное машиностроение невозможно без применения современных инновационных наукоемких технологий, однако для их широкого внедрения в производство необходимы научно обоснованные методы проектирования технологических процессов, в частности, обработкой металлов давлением [14].

Применение профильных и профилированных исходных заготовок в современном листоштамповочном производстве требует особого инженерного подхода, основанного на научных разработках, которые подтверждены реальными экспериментальными исследованиями, требует владения современными методами расчета технологических процессов и методами их моделирования, четкого понимания экономической целесообразности внедрения различных видов форм исходных заготовок.

Список литературы

1. Феофанова А.Е. Повышение интенсивности и надежности формирующих операций листовой штамповки: дис. ... д-ра техн. наук. М., 2004. 289 с.
2. Яковлев С.П., Кухарь В.Д. Штамповка анизотропных заготовок. М.: Машиностроение, 1986. 136 с.
3. Гречников Ф.В. Анализ влияния анизотропии на деформированное состояние фланца при осесимметричной вытяжке // Кузнеч.-штамповоч. пр-во, 1989. №12. С. 12-14.
4. Коротков В.А., Юдин Л.Г., Яковлев С.П. Влияние анизотропии механических свойств материала при многооперационной вытяжке // Кузнеч.-штамповоч. пр-во, 1987. №6. С. 31-32.
5. Демин В.А., Рыжкова А.А. Влияние формы заготовки на коэффициент вытяжки цилиндрических деталей // Заготовит. пр-ва в машиностроении. 2016. №11. С. 30-34.
6. Кухарь В.Д., Бойко О.А., Осадка квадратной и шестигранной заготовки в круговую матрицу // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2012. Вып.10. С.260-267.
7. Кухарь В.Д., Бойко О.А., Вытяжка шестигранной заготовки в круглую матрицу // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2012. Вып.12. С.60-67.
8. Малоотходная вытяжка деталей из листовых заготовок с фигурными краями / В.А. Жарков, Г.П. Тетерин, Е.Ю. Верхов, Б.С. Самойлов, В.Ф. Заруцкий, А.И. Богатырев // Кузнеч.-штамповоч. пр-во. 1983. №7. С.13-27.
9. N.Klinke, A.Schumacher. Finding the best thickness run parametrization for optimization of Tailor Rolled Blanks // 14. LS-DYNA Forum 2016, Bamberg.

10. R. J. Yang., Fu. Y., and Li. G. Application of Tailor Rolled Blank in Vehicle Front End for Frontal Impact // Society of Automotive Engineers. 2007. SAE Technical Paper, 2007-01-0675.

11. Разработка перспективных технологий штамповки листосварных разнотолщинных заготовок в ОАО "ГАЗ" / С.Б. Климычев, Д.Ю. Железняков, А.В. Костылев, Д.Г. Захаров, В.А. Китаев, А.Н. Игошин // Кузнеч.-штамповоч. пр-во. Обработка материалов давлением. 2004. №7. С. 22-27.

12. Хайруллин Т.В., Столбов В.И. Применение листовых сварных заготовок для штамповки деталей в аэрокосмической и автомобильной промышленности // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. Авиационная и ракетно-космическая техника, 2011. №3(27). С.20-27.

13. Проектирование технологических процессов в машиностроении: учеб. пособие для вузов / И.П. Филонов, Г.Я. Беляев, Л.М. Кожуро и др. под общ. ред. И.П. Филонова. Мн: Уп «Технопринт», 2003. 910с.

14. Демин В.А. Проектирование инновационных технологий в обработке металлов давлением // Научно-технические технологии в машиностроении. 2017. № 8. С.3-6.

Мальшиев Александр Николаевич, канд.техн.наук, доц., 1m-kf.mgtu@inbox.ru, Россия, Калуга, Калужский филиал Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет),

Бысов Сергей Александрович, канд.техн.наук, доц., 1m-kf.mgtu@inbox.ru, Россия, Калуга, Калужский филиал Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)

SHAPED BLANKS AND PROFILED BLANKS FOR CONTEMPORARY SHEET STAMPING PRODUCTION

The article is devoted to the review of most spread types of blanks in sheet-stamping production, the design and computation of which, as well as the creating deformation schemes, require a special scientific approach. Schemes for the creating shaped blanks taking into account the anisotropy of the material are given, as well as the scheme for tailor rolled blanks; stamping operations and types of parts for which these blanks are used are given.

Keywords: stamping, shaped blanks, profiled blanks

Malyshev Alexander Nikolaevich, candidate of technical sciences, docent, 1m-kf.mgtu@inbox.ru, Russia, Kaluga, Bauman Moscow State Technical University Kaluga Branch,

Bysov Sergey Alexandrovich, candidate of technical sciences, docent, 1m-kf.mgtu@inbox.ru, Russia, Kaluga, Bauman Moscow State Technical University Kaluga Branch

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВЫСОКОНАГРУЖЕННЫХ ПРУЖИН СЖАТИЯ

Ю.А. Лавриненко

Приведена разработанная методика проектирования технологических процессов изготовления высоконагруженных пружин сжатия, включающая определение всех конструкторских и технологических параметров пружин, в том числе величины пластической осадки, от которой зависит высота пружины при навивке и размеры по всем переходам технологического процесса. Кроме этого, предложенный расчет распределения остаточных касательных напряжений в сечении витка пружины позволяет прогнозировать сопротивление усталости при эксплуатации пружины.

Ключевые слова: пружина клапана; дробеструйная обработка; термоосадка; математическая модель упрочнения.

В последние годы в технике передовых стран всё чаще применяются винтовые пружины рациональной конструкции, имеющие неограниченную выносливость, экономящие монтажное пространство. К ним относятся высоконагруженные пружины сжатия, упрочнённые дробеметной обработкой, пластической осадкой в нагретом и в холодном состояниях. В отечественном машиностроении такие способы упрочнения раньше практически не применялись из-за отсутствия стандартов, РТМ и методик их проектирования. В последние годы после проведения исследований имеются отдельные примеры успешного применения таких пружин в автомобильной, тракторной промышленности, в станкостроении, в горной технике и др.

Трудности применения таких пружин связаны в основном с их проектированием, поскольку технологическая операция осадки не требует специализированного оборудования и может быть выполнена на любом универсальном прессе. А эффективность упрочнения пружин значительна, т.к. по сравнению с пружинами по ГОСТ нагрузочная способность упрочнённых пружин на 25...30% выше. А если уменьшить диаметр проволоки или прутка на 10%, то, сохраняя ту же силовую характеристику и выносливость, какие были у неупрочнённой пружины, можно уменьшить габариты и вес пружины на 35...50%.

Параметры витка (D ; d ; P_3) для обычных пружин регламентированы ГОСТ 13766-86...13775-86. В зависимости от допускаемых напряжений различают три класса пружин. Для I класса напряжения небольшие ($\tau_3=0,3\sigma_B$), поэтому они обеспечивают неограниченную выносливость даже при малых инерционных зазорах.

У пружин II класса $\tau_3=0,5\sigma_B$, поэтому они меньше по габаритам, но выносливость их может быть ограниченной. Для гарантии значительной выносливости инерционный зазор не должен быть слишком малым, а пружины в ряде случаев необходимо упрочнять дробеструйным наклёпом.

Пружины III класса имеют ещё большие напряжения при соприкосновении витков, а поэтому большой шаг и высокую скорость прохождения динамической волны вдоль пружины. Они применяются при импульсных нагрузках, которые в обычных пружинах I и II классов могут вызвать соударение витков и быстрое разрушение. В зависимости от применяемого материала пружины подразделяются также на разряды.

Для пружин неограниченной выносливости и значительной асимметрии цикла $r=P_1/P_2$ нужен инерционный зазор $\delta = 0,427$ (т.е. $P_2 \leq P_3/1,75$). Все остальные пружины могут быть нагружены в пределах зазора $\delta = 0,1 \dots 0,427$. Следует отметить, что при $\delta = 0,5 P_2 = 0,5 P_3$, т.е. используется только половина полученной упругой характеристики. Для пружин с малой асимметрией цикла, но с большим числом нагружений можно рекомендовать назначать $\delta \approx 0,30$. К таким пружинам можно отнести пружины натяжения ремней, цепей, тросов передач. Нажимные пружины валков, тормозов и других устройств, хотя имеют несколько больший рабочий ход, но количество циклов нагружения у них меньше, поэтому для них также можно рекомендовать $\delta \approx 0,3$. Пружины штампов, как правило, имеют и большой рабочий ход, т.е. большую асимметрию цикла r и значительное число циклов нагружения, поэтому для них рекомендуется $\delta = 0,3 \dots 0,427$.

Номинальные коэффициенты относительных механических свойств получены без учёта влияния кривизны витка, т.е. индекса $C=(D-d)/d$.

В табл.1 приведены значения коэффициентов механических свойств K_m , а варианты расчёта параметров пружины представлены в табл.2. Здесь представлены два крайних варианта: 1-й - когда задана силовая характеристика; 2-й – когда заданы геометрические параметры пружины. На практике могут встретиться промежуточные расчётные случаи, когда из пяти заданных параметров некоторые – силовые, а остальные – геометрические. Например, $h\delta P_2 H_2 C$ или $h\delta P_2 H_0$.

Таблица 1

Коэффициенты механических свойств K_m

№	Материал (проволока)	$\bar{P}_{ном.}^*$	$K_{Iном.}$	K_m
1	Высоконагартованная $\sigma_b \geq 185$	1,49	0,451	0,5
2	Средненагартованная $\sigma_b < 185$	1,433	0,466	0,2
3	Закалённая до навивки	1,392	0,524	
4	Закалённая после навивки	1,35	0,515	

Практика показала, что чертежи на многих заводах выполнены не по ГОСТ. Это в большей степени относится к уровню нагружения $K_u = \tau_3 / \sigma_b$.

С увеличением K_{II} возможности упрочнения уменьшаются, т.к. существующая пружина уже была перегружена. Для обеспечения значительной выносливости (N циклов) нельзя нагружать упрочнённую пружину до нагрузки P_3 .

Таблица 2

Варианты расчёта параметров пружины

Номер варианта	Заданные параметры	Варьируем	Определяем
1	Силовая характеристика, индекс навивки C	$C; \bar{P}$	Диаметр проволоки, геометрические параметры
	$h \quad \delta \quad P_2 \quad \bar{P} \quad C$		
2	Диаметр проволоки, габариты пружины	$d; D; H'_3$	Силовую характеристику
	$h \quad \delta \quad H'_3 \quad D \quad d$		

Примечание. h – рабочий ход пружины, мм; d – диаметр проволоки, мм; D – наружный диаметр пружины, мм; δ – относительный инерционный зазор; P_2 – вторая рабочая нагрузка; H_2 – высота пружины при второй нагрузке; \bar{P} – конструктивная относительная жесткость; C – индекс пружины; H'_3 – высота пружины при сжатии до соприкосновения витков; K_m – коэффициент, соответствующий группе материалов; $\bar{P}^*_{ном}$ – относительный коэффициент, характеризующий диаграмму упрочнения; $K_1 = \tau_s/\sigma_B$ – относительный коэффициент, характеризующий упругое совершенство проволоки; $K_{1ном}$ – то же, что и K_1 , но без учета кривизны витка; $K_{ц}$ – коэффициент, характеризующий уровень нагружения и количество циклов до разрушения ($\tau_3 = K_{ц}\sigma_B$); K_c – коэффициент концентрации напряжений на внутреннем волокне вследствие кривизны витка

Но если при этом на чертеже анализируемой пружины был значительный инерционный зазор δ , то возможности упрочнения увеличиваются. Чтобы определить промежуточные, нестандартные значения этого коэффициента, необходимо производить расчёты.

Приведём пример алгоритма такого расчёта, реализованного в данной методике:

НАЗНАЧИМ: $d; D; H_0; P_2; \sigma$ или HRC

ВЫЧИСЛИМ: $C(10);$

$Z(12);$

$H_3(15);$

$\lambda_3; P_3; K_C; K_{ц}; \delta.$

В этом алгоритме введены новые формулы в дополнение к табл.2

$$[1]: \lambda_3 = H_0 - H_3, P_3 = Z \cdot \lambda_3, K_{ц} = \frac{8 P_3 C K_c}{\pi d^2 \sigma_B}, \delta = (P_3 - P_2) / P_3.$$

Выбор материалов для навивки пружин (упрочненная проволока) представлен в работах [1 и 2].

При проектировании можно прогнозировать возможность релаксации в зависимости от технологии осадки и инерционного зазора δ :

1) Осадка в процессе сборки для статических пружин (например, пружина шарнира наружного зеркала) – нагрузка уменьшится со временем при эксплуатации на ~ 7 %.

- 2) Осадка технологическая, однократная без выдержки по времени:
- а) если при работе инерционный зазор $\delta \geq 0,1$, то заметной релаксации не ожидается;
 - б) если пружина статическая типа предохранительной, с малым числом циклов, малым инерционным зазором $\delta = 0 \dots 0,03$, то возможна релаксация до 7 %.
- 3) Осадка с выдержкой 10...20 с, или 5...8 кратная осадка до нагрузки P_3 :
- а) если при работе $\delta \approx 0$, то ожидается релаксация ≈ 4 %;
 - б) если $\delta > 0,1$, то заметной релаксации не ожидается.
- 4) Осадка технологическая с заневоливанием на 48 ч – релаксация при эксплуатации не ожидается даже при $\delta \rightarrow 0$.

Расчёт пружин в упругой области (неупрочнённых) не вызывает особых затруднений, хотя принцип расчёта отличается от стандартной методики. Единственно, что следует отметить: точность расчёта по силовой характеристике зависит от плотности типоряда диаметров проволоки d_i , а если расчёт заканчивается выбором последнего диаметра, то он может быть недостоверным. Т.е. после примерного расчёта по силовой характеристике следует повторить его по геометрическим параметрам. При этом достигается более высокая точность. Расчёт пружин в пластической области (упрочнённых осадкой) удобнее проводить, задавая геометрические параметры монтажного пространства подкладными шайбами или втулками.

При изменении инерционного зазора δ и рабочего хода h конструкция рассчитанной пружины не изменяется. Изменяются только условия эксплуатации пружины, т.е. рабочие нагрузки и соответствующие им длины.

Если пружина сравнительно длинная $H/D > 2$, то в пункте I технических условий записывается уточнение: упрочнить пластической осадкой на оправке или в гильзе. Если $H_0/D \geq 2,6$, то пружина может потерять устойчивость даже в упругой области.

Расчет напряженно-деформированного состояния при термоосадке. Точность расчетов силовых и геометрических параметров пружин в пластической области в первую очередь зависит от точности построения исходной диаграммы сдвига τ - γ . Диаграмма деформирования при сдвиге, необходима для дальнейших расчетов [3]. Она позволяет учесть влияние температуры на изменение реологических свойств материала пружин. Особенностью расчета при термоосадке напряженно-деформированного состояния (НДС) витка пружины малого индекса $c < 8$, является необходимость учета кривизны стержня, работающего на кручение [4].

Введем следующие обозначения: $d\varphi$ - угол поворота сечения; R - радиус витка пружины; ρ, α - полярные координаты расчётной точки; dz_0 – длина элемента стержня, $\theta = d\varphi/dz_0$ – относительный угол поворота. Выражение для деформации сдвига в расчётной точке $\{\rho, \alpha\}$

$$\gamma = R \frac{\theta}{R + \rho \cdot \cos \alpha} \cdot \rho . \quad (1)$$

Напряжение при упругой работе материала ($\tau = G\gamma$) определяется соотношением

$$\tau = \frac{GR\theta}{R + \rho \cdot \cos \alpha} \cdot \rho . \quad (2)$$

Крутящий момент в сечении

$$T = \int_s \tau \rho dS = GR\theta W^* . \quad (3)$$

Относительный угол поворота

$$\theta = \frac{T}{GRW^*} . \quad (4)$$

Касательные напряжения в сечении распределены по закону

$$\tau = \frac{T\rho}{(R + \rho \cdot \cos \alpha) \cdot W^*} . \quad (5)$$

В формулах (3), (4) и (5) обозначено

$$W^* = \int_0^r \int_0^{2\pi} \frac{\rho^3 d\rho \cdot d\alpha}{R + \rho \cdot \cos \alpha} . \quad (6)$$

Величина W^* является геометрической характеристикой сечения и по размерности соответствует полярному моменту сопротивления круга. Геометрический фактор жёсткости для стержня большой кривизны

$$I^* = R W^* . \quad (7)$$

Осадка пружины при крутящем моменте $T = PR$ (P - внешняя нагрузка)

$$\lambda = \frac{2\pi R^2 T}{GI^*} n, \quad (8)$$

где n - число витков пружины.

Или, заменив T по формуле (3), получим связь λ и θ :

$$\lambda = 2\pi R^2 n \theta . \quad (9)$$

Определение поля остаточных касательных напряжений. В процессе термоосадки при заданной температуре нагрева пружина сжимается до соприкосновения витков.

Связь между осадкой λ и относительным углом θ закручивания устанавливается выражением (8), а деформации сдвига при известном θ определяются по формуле (1). Касательные напряжения τ определяются при нагружении по заданной диаграмме сдвига $\tau = F(\gamma)$ при заданной температуре нагрева и для $T=20$ °С при разгрузке.

Крутящий момент при термоосадке найден из выражения (3).

Считая разгрузку упругой, находим размах напряжений при снятии нагрузки по формуле (5). Наибольшее отрицательное остаточное напряжение после термоосадки $\sigma_{max}^{ост}$ определяют суммированием напряжений при нагружении и при разгрузке; λ - величина осадки в момент соприкосновения витков; $\lambda_{ост}$ - уменьшение высоты пружины после термоосадки.

Расчет напряженно-деформированного состояния при дробемётной обработке. Расчет процесса деформирования при дробемётной обработке ведут последовательными шагами, учитывая изменение НДС в предыдущем расчёте. Такой метод расчёта принято называть расчётом кинетики напряженно-деформированного состояния.

В качестве исходных данных для расчёта используют поле остаточных деформаций сдвига и поле остаточных пластических деформаций сдвига, полученных при расчёте процесса термоосадки. Кроме того, для расчета требуется поле внедренной пластической деформации от дробемёта, которое определяют при травлении образца-свидетеля - тонкой контрольной пластинки, которая помещается в дробемётную камеру вместе с партией пружин.

В результате расчета получено распределение остаточных касательных напряжений после дробемётной обработки и величина остаточной осадки $\lambda_{ост. дроб.}$.

Расчет кинетики деформирования при трехкратной кратной холодной осадке. Трехкратная холодная осадка проводится сжатием пружины до соприкосновения витков при комнатной температуре. Расчет кинетики деформирования ведут последовательными шагами.

В качестве исходных данных для расчета используют поля нормальных и сдвиговых остаточных деформаций (полных и пластических), полученных после расчета процесса дробемётной обработки.

Можно рассчитать λ , $\lambda_{пл}$, ε_z , p_z , ε_ϕ , p_ϕ , ε_r , p_r после последнего шага для всех элементов разбиения. После упругой разгрузки по полям пластических деформаций можно определить поля полных деформаций, а по ним и остаточные напряжения.

В результате расчета получают распределение остаточных касательных напряжений после трехкратной холодной осадки и величину остаточной осадки $\lambda_{ост.}$. В результате трехкратной холодной осадки пружина уменьшает длину на $d\lambda$.

В табл.3 представлен общий порядок (алгоритм) проектирования технологии изготовления высоконагруженных пружин сжатия.

Алгоритм проектирования технологии изготовления высоконагруженных пружин сжатия

<p>1. Задание исходных параметров пружины: $d, D, H_0, P_2, n, n_1, c$, рабочий ход h, σ</p> <p>2. Расчет параметров пружины в упругой и пластической областях: $C=(D-d)/d; Z=1000d/C^3n; H_3=d(n+1.5); \lambda_3=H_0-H_3; P_3=Z\lambda_3;$ $K_2=8P_3C K_2/\pi d^3 \sigma_2; \delta=(P_3-P_2)/P_3; \tau_1; \tau_2; \tau_3; r; n_2.$</p> <p>3. Анализ результатов расчетов, выбор или подтверждение марки пружинной стали. Определение необходимости упрочнения пружины дробеструйной обработкой, термоосадкой, холодной осадкой</p>
<p>4. Построение диаграммы деформирования $\tau - \gamma$ по результатам испытания пружины на осадку</p> <p>5. Расчет напряженно-деформированного состояния пружины при термоосадке, включая величину осадки в момент соприкосновения витков λ; уменьшение высоты пружины после термоосадки $\lambda_{ост}$; наибольшее отрицательное остаточное касательное напряжение τ_{max}</p>
<p>6. Экспериментальное определение внедренной пластической деформации от дробеметной обработки при травлении образца свидетеля, а также расчет поля пластических деформаций</p> <p>7. Расчет распределения остаточных поверхностных касательных напряжений при дробеметной обработке $\tau_{ост-дроб}$ и их глубины $\delta_{ст}$, остаточной осадки пружины $\lambda_{ост-дроб}$ с учетом поля остаточных пластических деформаций сдвига на предыдущей операции термоосадки</p>
<p>8. Расчет кинетики деформирования при трехкратной холодной осадке с учетом полей нормальных и сдвиговых остаточных деформаций при предыдущей операции упрочнения. Определение остаточных касательных напряжений $\tau_{ост}$ и остаточной осадки $\lambda_{ост}$</p>
<p>9. Расчет высоты пружины при навивке, после шлифовки, после термоосадки, после дробеметной обработки, после трехкратной холодной осадки</p>
<p>10. Проектирование оснастки</p>
<p>11. Оформление технологической документации</p>
<p>12. Опытная проверка технологии изготовления</p>
<p>13. Испытания на крип и сопротивление усталости</p>
<p>14. Запуск в производство</p>

Заключение.

1. Разработанная методика позволяет рассчитать все конструкторские и технологические параметры пружины, в том числе величину пластической осадки. От этого параметра зависит высота пружины при навивке и размеры по всем технологическим переходам технологического процесса.

2. Определенное расчетным путем распределение остаточных касательных напряжений в сечении витка позволяет прогнозировать сопротивление усталости при работе пружины.

Список литературы

1. Лавриненко Ю.А., Белков Е.Г., Фадеев В.В. Упрочнение пружин// Издательский дом «Бизнес-Партнёр», 2002. 124 с.

2. Лавриненко Ю.А. Требования к материалам и способы упрочнения пружин клапана двигателей внутреннего сгорания // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. 2017. №3 (323). С.117-124.

3. Лавриненко Ю.А. Построение диаграммы деформирования проволоки 70ХГФА-Ш по испытаниям пружины на сжатие в пластической области // Кузнеч.-штамповоч. пр-во. Обработка металлов давлением. 2010. №7. С. 11-15.

4. Лавриненко Ю.А. Математическая модель процесса упрочнения пружин клапана двигателей автомобилей // Заготовительные производства в машиностроении. 2017. Т. 15. № 7. С. 302-310.

5. Белков Е.Г. Холодная навивка пружин. Иркутск: Изд-во Иркутского ун-та, 1987, 96 с.

Лавриненко Юрий Андреевич, канд. техн. наук, доц., mpf-tula@rambler.ru, Россия, Москва, ФГУП «НАМИ»

**METHOD OF DEVELOPING OF TECHNOLOGICAL PROCESSES
OF MANUFACTURING OF HIGH-LOADING SPRINGS**

Yu.A. Lavrinenko

New method of developing of technological processes of manufacturing of high-loading springs, included calculation of all design and technological parameters of spring and value of thermo upsetting which is influenced to height of spring after coiling is presented. Moreover presented calculation of residual stresses in section of spring is allowed to forecast of fatigue strength during performance of spring.

Key words: valve spring, cloud burst hardening, thermal upsetting, mathematical model of hardening.

Lavrinenko Yuriy Andreevich, candidate of technical sciences, docent, mpf-tula@rambler.ru, Russia, Moscow, Federal State Unitary Enterprise NAMI

УДК 621.7; 004.942

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ
НА ПОКАЗАТЕЛИ СЕЛЕКТИВНОЙ СБОРКИ С ПОМОЩЬЮ
ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

О.В. Филипович, Г.В. Невар

Построена имитационная модель процесса однопараметрической селективной сборки двух деталей, учитывающая влияние погрешностей измерения на сортировку по селективным группам при одновариантном комплектовании. Приведены результаты моделирования, произведена оценка влияния погрешности измерения на показатели сборочного процесса.

Ключевые слова: селективная сборка, имитационная модель, погрешность измерения, ошибка сортировки.

Сортировка деталей на размерные группы является одним из основных этапов селективной сборки изделий. В поточном производстве рассматриваемый процесс обеспечивается контрольно-сортировочными

автоматами – специальными устройствами, которые предназначены для автоматического стопроцентного контроля параметров сопрягаемых деталей x_i и последующей их сортировкой на размерные группы. В некоторых случаях эти устройства помимо указанных операций осуществляют комплектование и сборку.

Контроль деталей всегда сопровождается случайными ошибками, появление которых приводит к тому, что вместо истинного значения параметра x_i в процессе измерения становится известной величина z_i , обычно связанная с исходной следующей аддитивной зависимостью:

$$z_i = x_i + \delta_i, \quad (1)$$

где δ_i – погрешность измерения.

Рассмотрим процесс сборки узла, состоящего из двух деталей ($i = \overline{1,2}$), образующих соединение по посадке с зазором. Для комплектования примем следующее правило: размеры деталей, подобранные определенным образом из соответствующих групп при сборке должны обеспечивать зазор S , лежащий в пределах

$$S_{\min} \leq S \leq S_{\max}, \quad (2)$$

при этом детали из этих групп должны быть полностью взаимозаменяемыми. Предположим, что сопрягаемые параметры x_i являются независимыми случайными величинами, имеющими плотности распределения $f_i(x)$, конечные математические ожидания и дисперсии, а также величины расширенных допусков Tx_i на изготовление партий деталей равных объемов $Q_1 = Q_2 = Q$, количество групп сортировки L_i . В результате сортировки деталей по действительным значениям параметра могут возникнуть ошибки сортировки: попадание детали в одну из соседних селективных групп вместо требуемой группы, куда бы она попала при проведении сортировки по истинным значениям при $\delta_i \rightarrow 0$ (рис.1).

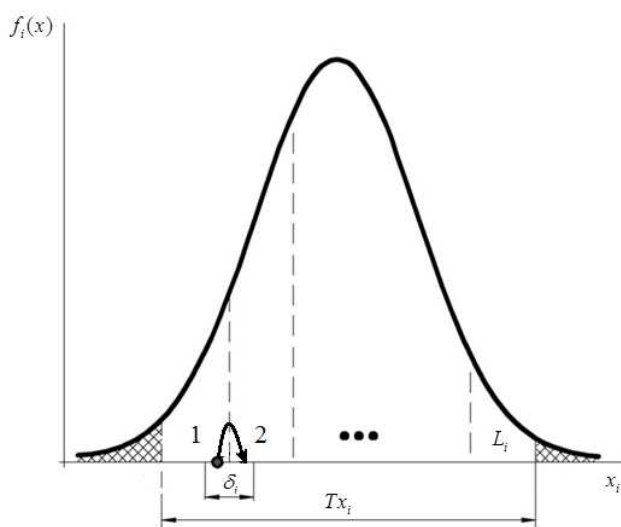


Рис. 1. Иллюстрация процесса ошибочной сортировки

В свою очередь, ошибки сортировки будут сказываться на качестве изделий: при использовании одновариантного алгоритма комплектования (комплектование из одноименных селективных групп), изделия, полученные из таких деталей, будут заведомо бракованными по выходному параметру, точность которого пытаются достичь методом групповой взаимозаменяемости. Вероятность получения таких событий будет тем меньше, чем меньше величина погрешности измерения, т.е. больше близость действительного значения параметра к истинному значению. При решении данной метрологической задачи первостепенное значение имеет вопрос выбора требуемой точности средств измерительной техники.

Целью данной работы является оценка влияния погрешности измерения на качественные и количественные показатели селективной сборки двух деталей. В качестве инструмента оценки будем использовать имитационную модель процесса сборки, построенную с учетом вероятных ошибок сортировки. Попытки решить частные случаи указанной задачи были предприняты в [1, 2]. В данной работе предлагается построение обобщенной модели, позволяющей в дальнейшем провести полномасштабные исследования.

Имитационные модели широко используют для анализа поведения сложных реальных систем, состоящих из большого количества взаимодействующих элементов и процессов, которые, в большинстве случаев, являются случайными. Основные принципы построения базовой модели процесса однопараметрической селективной сборки приведены в [3]. Модель будет построена в среде GPSS World – современной версии системы компьютерного моделирования общего назначения GPSS [4-6].

Модель состоит из трех основных сегментов:

- 1) задания исходных данных;
- 2) имитации процесса измерения и сортировки;
- 3) имитации процесса сборки.

В первом сегменте задается следующее:

- 1) количество групп сортировки, объем партий комплектующих и емкость накопителя сборки;
- 2) данные для определения значения выходного параметра собранного узла и показателей процесса сборки;
- 3) данные о сопрягаемых параметрах изделия (расширенные допуски на изготовление, координаты середин полей допусков, математические ожидания размеров, среднеквадратические отклонения размеров, предельные отклонения, величины групповых допусков), предельные значения погрешностей измерения.

Кроме этого здесь описываются статистические таблицы, необходимых для сбора данных.

Реализацией каждой отдельно взятой детали в модели является ее динамический объект – транзакт. Во втором сегменте производится генерация серии транзактов, при этом размер серии определяется величиной

размера партии. Каждому транзакту в первый параметр записывается значение $СВx_i$, распределенное по заданному закону (истинный размер i -й детали). Для определения закона используются встроенные в GPSS World библиотечные генераторы случайных чисел. Во второй параметр транзакта записывается действительное значение размера z_i , определяемое по формуле (1) при конкретных реализациях значений истинного размера и погрешности измерения. Третьему параметру присваивается номер селективной группы, определенной при помощи специальной процедуры по действительному значению. Для детали i -го типа присваивается $L_i + 2$ номеров групп, L_i – для годных, 2 группы – для бракованных, размеры которых не попали в поле расширенного допуска (заштрихованные области на рис. 1). Следующие два параметра транзакта используются для промежуточных вычислений.

Процесс сортировки на заданное количество селективных групп осуществляется при помощи подпрограмм, выполненных на языке программирования низкого уровня PLUS, встроенного в GPSS World [4]. Каждая подпрограмма представляет из себя PLUS-процедуру. Для детали i -го типа сначала рассчитываются границы k_i -й селективной группы $\{a_i^{k_i}, a_i^{k_i+1}\}$ в пределах допуска Tx_i , а затем определяется принадлежность величины z_i интервалам $[a_i^{k_i}, a_i^{k_i+1}]$. В случае, если $z_i \in [a_i^{k_i}, a_i^{k_i+1}]$, то процедура прекращается и результат ее выполнения возвращается в виде переменной M_i , численное значение которой равно $M_i = k_i$. Если этого не происходит, то процесс циклически повторяется до тех пор, пока не будет найдена принадлежность z_i одной из селективных групп ($k_i = \overline{1, L_i}$). Также определяется принадлежность деталей к разряду бракованных деталей.

Переменные M_i определяют группы сортировки для деталей и используются в дальнейшем в качестве номеров списков пользователя (СП), в которые попадают транзакты в порядке их поступления (FIFO: firstin – firstout). Списки пользователя используются в модели в качестве комплектных позиций и имеют ограничение по емкости. Детали остаются в СП до тех пор, пока не будет осуществлен их вывод. Данный сегмент состоит из однотипных модулей (для детали каждого типа).

Операцию вывода осуществляет третий сегмент модели, работающий параллельно со вторым. Производится генерация специального транзакта (выводящий транзакт), во второй, и третий параметры которого записываются номера определенных селективных групп, преобразованные в номера списков пользователей. Далее этот транзакт задерживается в одноканальном устройстве, которое имитирует период поиска годного комплекта, осуществляемого сборщицей. В случае если комплект может быть собран из текущих номеров групп и в соответствующих СП есть необходимое количество транзактов, то производится их вывод из СП и поступ-

ление в накопитель сборки, который имитирует многоканальное устройство с емкостью 2 (1 транзакт – вал, 1 – отверстие, объединяются в 1 как транзакты одного семейства). Когда устройство будет заполнено, осуществляется вывод двух транзактов из него, тем самым имитируется процесс сборки.

Далее производится расчет значения зазора (для расчета используются истинные значения размеров x_i) и проверка выполнения условия (2). Если оно выполняется, то сортировка по действительным размерам осуществлена правильно и комплект является годным, если нет – бракованным. Сборка комплекта производится в любом случае.

Если комплект не может быть собран из текущих номеров групп, процесс циклически повторяется путем инкрементирования значения, записанного в первый параметр выводящего транзакта. Процесс вывода осуществляется до тех пор, пока в накопителях, соответствующих каждой паре деталей, определенной селективной группы есть контрдетали. Оставшиеся детали будут составлять незавершенное производство.

После прогона модели в отчете представлены следующие данные, необходимые для дальнейшего анализа:

1) информация о статистических плотностях распределения, средних значениях и стандартных отклонениях размеров деталей в партии (истинных и действительных), выходном параметре изделия, погрешностях измерения, собранная при помощи статистических таблиц;

2) количество транзактов, оставшихся в пользовательских списках, составляющих незавершенное производство и предварительный брак;

3) общее количество собранных комплектов и годных собранных комплектов.

Приведем пример моделирования процесса селективного комплектования и сборки по построенной имитационной модели. Пусть изготавливаются партии деталей одинаковых объемов $Q = 1000$ шт. Предположим, что распределения размеров деталей в соответствующих партиях – нормальные, имеющие плотности

$$f_i(x) = \frac{1}{\sigma_i \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m_i)^2}{2\sigma_i^2}}, \quad i = \overline{1,2}, \quad (3)$$

где m_i и σ_i – математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение случайной величины x_i . Для рассматриваемого примера в качестве исходных данных примем следующее.

1. Величины расширенных допусков для деталей обоих типов берутся равными друг другу $T_1 = T_2 = 0,018$ мм при номинальных размерах сопрягаемых поверхностей $d_1 = d_2 = 18$ мм (индекс 1 – вал, индекс 2 – отверстие). Количество селективных групп годных деталей фиксировано, $L_1 = L_2 = 6$. Предельные отклонения крайних селективных групп, ограни-

чивающих расширенный интервал допуска, составляют: $a_1^2 = -0,018$ мм, $a_1^8 = 0$ мм, $a_2^2 = 0$ мм, $a_2^8 = 0,018$ мм, математические ожидания $m_1 = 17,990$ мм; $m_2 = 18,010$ мм; среднеквадратические отклонения $\sigma_1 = 0,0029$ мм; $\sigma_2 = 0,0031$ мм.

2. При условии отсутствия или компенсации систематических погрешностей, определим закон распределения случайной составляющей погрешности измерения. В работе [7] показано, что максимум дифференциальной энтропии непрерывной случайной величины, ограниченной конечными пределами, обеспечивает композиционный закон, который в зависимости от значения дисперсии является усеченным нормальным, равномерным или двумодальным. Примем при определенных ограничениях на дисперсию, что погрешности измерения δ_i имеют усеченные нормальные распределения, функции плотностей которых при нулевых математических ожиданиях

$$f_i(\delta_i) = \begin{cases} \frac{1}{c_i \cdot \sigma_{\delta_i} \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\delta_i)^2}{2\sigma_{\delta_i}^2}}, & \delta_i \in [-\Delta_i, \Delta_i]; \\ 0, & \delta_i \notin [-\Delta_i, \Delta_i], \end{cases} \quad (4)$$

где Δ_i – предельное значение погрешности измерения i -й детали; c_i – па-

раметр закона, $c_i = \int_{-\Delta_i}^{\Delta_i} f_i(\delta_i) d\delta_i$; σ_{δ_i} – среднеквадратическое отклонение

случайной величины, принимаемое равным $\sigma_{\delta_i} = \frac{\Delta_i}{2}$.

Соответствие номеров селективных групп и списков пользователя представлено в табл. 1.

Таблица 1

Соответствие номеров групп и СП

Тип детали	Брак	Годные детали / Номера селективных групп						Брак	
		1	2	3	4	5	6		
Вал	СП	1	2	3	4	5	6	7	8
Отверстие		9	10	11	12	13	14	15	16

При моделировании примем $\Delta_1 = \Delta_2 = 1$ мкм. После прогона модели с использованием одного генератора случайных чисел по накопленным статистическим данным возможно получить статистическое распределение

значений действительных и истинных размеров вала и отверстия (табл. 2, 3), а также гистограммы, показывающие статическое распределение значений зазоров S и погрешностей измерения (рис. 2 и 3).

Таблица 2

Данные статистического распределения значений действительных и истинных размеров вала

Границы групп, мкм		Номер группы							
		1	2	3	4	5	6	7	8
		До -18	От -18 до -15	От -15 до -12	От -12 до -9	От -9 до -6	От -6 до -3	От -3 до -0	Св. 0
Количество попаданий	по x_1	6	47	192	358	276	105	15	1
	по z_1	7	45	192	359	269	111	16	1

Таблица 3

Данные статистического распределения значений действительных и истинных размеров отверстия

Границы групп, мкм		Номер группы							
		1	2	3	4	5	6	7	8
		До 0	От 0 до 3	От 3 до 6	От 6 до 9	От 9 до 12	От 12 до 15	От 15 до 18	Св. 18
Количество попаданий	по x_2	0	11	87	292	376	192	36	6
	по z_2	0	12	85	288	370	198	43	4

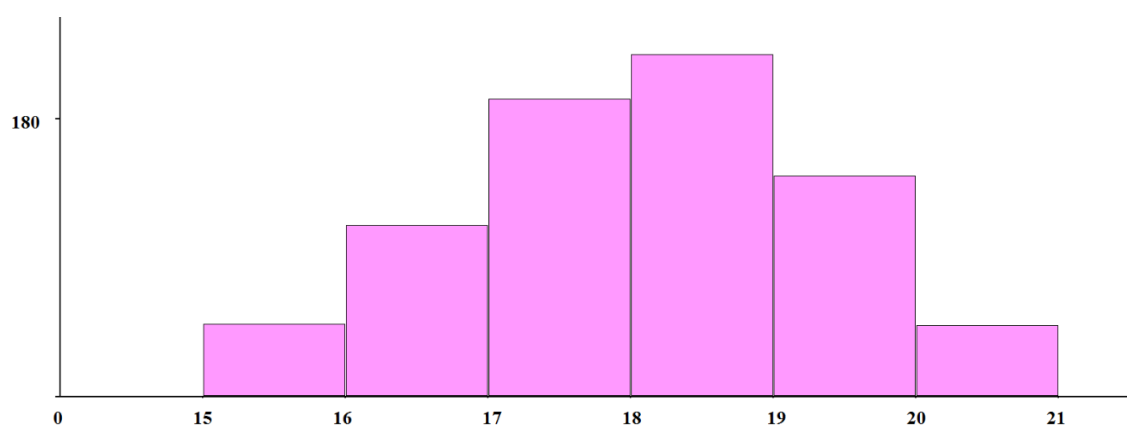


Рис. 2. Статистическое распределение значений зазора в соединении

Проведем эксперимент, определяя показатели селективной сборки (количество годных Q_G и общее количество собранных комплектов Q), при изменении предельных значений погрешности измерения. Годным

считается комплект, значение зазора в соединении деталей которого удовлетворяет условию (2). Результаты шести прогонов модели при различных значениях Δ приведены в табл. 4.

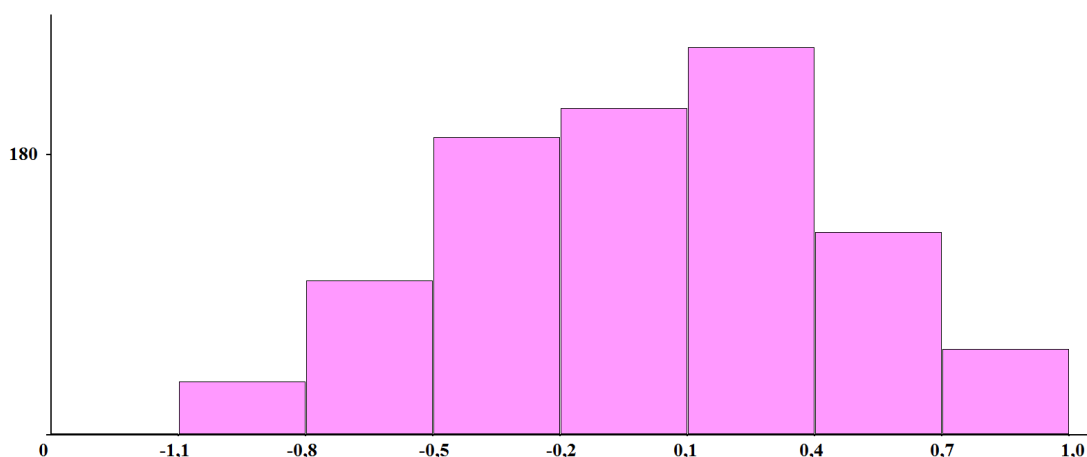


Рис. 3. Статистическое распределение значений погрешности измерения

Таблица 4

Результаты экспериментов

Номер эксперимента	Δ , мкм	Показатели		ΔQ , шт.	δQ , %
		Общее количество сборочных комплектов Q , шт.	Количество годных сборочных комплектов Q_G , шт.		
1	1,5	788	747	41	5,2
2	1,35	782	752	30	3,8
3	1,2	782	760	22	2,8
4	1,05	783	767	16	2,0
5	0,9	781	769	12	1,5
6	0,75	784	775	9	1,1

Как видно по результатам моделирования, абсолютная ΔQ и относительная δQ величины уменьшаются по мере уменьшения предельного значения погрешности.

Продолжением научных исследований в данной области может служить решение задачи определения требуемой погрешности средства измерения с учетом следующих факторов:

- 1) законов распределения погрешностей измерения;
- 2) зависимостей предельного значения погрешности от величины группового допуска;
- 3) стоимости средства измерительной техники.

Решение такой задачи позволит выбрать средство измерительной техники, оптимальное по точности при ограничениях технического и экономического характера.

Список литературы

1. Филипович О.В., Невар Г.В. Исследование процесса ошибочной разбраковки при селективной сборке двух деталей при помощи имитационного моделирования // Автоматизация и приборостроение: проблемы, решения: материалы Междунар. науч. - техн. конф. в г. Севастополь, 11-15 сентября 2017 г. Севастополь: СевГУ. 2017. С.99-100.

2. Филипович О.В., Гарматюк М.И. О влиянии погрешности измерения на качество продукции при селективной сборке двух деталей // Качество технологий – качество жизни: сб. тез. VI Междунар. науч.-практ. конф. 30-31 мая 2013 г. Харьков: Изд-во УИПА. 2013. С. 89-90.

3. Филипович О.В., Копп В.Я., Гарматюк М.И. Имитационная модель процесса однопараметрической селективной сборки // Сборка в машиностроении и приборостроении. 2012. № 5. С.81-90.

4. Боев В.Д. Моделирование систем, инструментальные средства GPSS World. СПб.: Изд-во «БХВ-Петербург». 2004. 454 с.

5. Бражник А.Н. Имитационное моделирование: возможности GPSS World. СПб.: Реноме. 2006. 439 с.

6. Кудрявцев Е.М. GPSSWorld. Основы имитационного моделирования различных систем. М.: ДМК Пресс. 2004. 320 с.

7. Анализ дифференциальной энтропии при технических измерениях в машино- и приборостроении / В.Я. Копп, А.А. Скидан, А.И. Балакин [и др.] // Тр. Одесского политехнического университета: науч. и производств.-практ. сб. по техн. и естеств. наукам. Одесса, 2007. Вып. 1 (27). С. 214-219.

Филипович Олег Викторович, канд. техн. наук, доц., зав. кафедрой, ophisl@yandex.ru, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет,

Невар Галина Валерьевна, асп., GalinaNevar@yandex.ru, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет

EVALUATION OF THE INFLUENCE OF THE MEASUREMENT ERROR ON THE INDICATORS OF SELECTIVE ASSEMBLY WITH THE HELP OF IMITATION MODELING

O.V. Filipovich, G.V. Nevar

An imitation model of the process of a one-parameter selective assembly of two parts is constructed, which takes into account the influence of measurement errors on sorting by selective groups under univariant acquisition. The results of modeling are presented, the influence of the measurement error on the parameters of the assembly process is estimated.

Key words: selective assembly, imitation model, measurement error, sorting error.

Filipovich Oleg Viktorovich, candidate of technical sciences, associate professor, head of chair, ophisl@yandex.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University,

УДК 621.9; 663.255

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОГО И МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ САПР ЩЕЛЕВОГО БУНКЕРНОГО ЗАГРУЗОЧНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ЭЛЕМЕНТОВ УПАКОВКИ В ВИДЕ Т-ОБРАЗНЫХ ПРОБОК

И.Б. Давыдов, Е.В. Пантюхина

Рассматриваются вопросы создания, математического и методического обеспечения САПР щелевого бункерного загрузочного устройства для автоматической загрузки роторных машин и линий для розлива игристых вин, шампанского и элитных алкогольных напитков элементами упаковки в виде Т-образных пробок.

Ключевые слова: дисковое щелевое бункерное загрузочное устройство, Т-образные пробки, автоматическая загрузка, САПР.

Одной из наиболее сложных задач автоматизации технологических процессов и производств, способствующей повышению производительности и надежности, является автоматизация загрузки технологических машин штучными изделиями массой не более 0,07 кг в упорядоченном положении, с заданным темпом и требуемой производительностью. Эта задача выполняется системами автоматической загрузки (САЗ), основным элементом которых является механическое бункерное загрузочное устройство (БЗУ), обеспечивающее захват, ориентирование и выдачу штучных изделий в последующие устройства САЗ [1, 2, 3].

Автоматическую загрузку роторных машин и линий для розлива игристых вин, шампанского и элитных алкогольных напитков укупорочными элементами в виде Т-образных пробок в упорядоченном положении, с заданным темпом и требуемой производительностью обеспечивают САЗ на базе щелевых БЗУ. Это обусловлено тем, что производительность таких машин и линий при ручной подаче элементов упаковки составляет лишь 30...40 шт./мин, в то время как автоматическая их загрузка может обеспечить производительность 100...200 шт./мин для отечественных линий и 1200 шт./мин для зарубежных [4, 5].

Рабочие органы современных технологических машин и линий могут регулироваться для широкого спектра типоразмеров и форм загружаемых в них изделий в отличие от БЗУ. Это объясняется тем, что при изменении формы загружаемых изделий даже на 5%, ранее используемое БЗУ начинает выдавать неориентированные изделия, что приводит к резкому падению производительности и надежности всей линии. Поэтому при даже незначительном изменении размеров загружаемых элементов упаковки необходимо создавать новые конструкции БЗУ.

Процесс расчета и проектирования БЗУ для каждого элемента упаковки очень трудоемкая задача, отнимающая много сил и времени из-за сложности построения математических моделей процессов захвата, ориентирования изделий и производительности БЗУ, сопровождающихся огромным объемом вычислительных операций. Создание САПР целевых БЗУ для Т-образных элементов упаковки освободит разработчика от выполнения трудоемких и рутинных операций.

В современном отечественном производстве, где практически во всех отраслях промышленности применяют САПР элементов и конструкций технологических машин, до сих пор не существует САПР для создания новых конструкций БЗУ, позволяющей в зависимости от параметров загружаемых изделий и требуемой производительности машины получить конструкторскую документацию на БЗУ. В тоже время за рубежом, в частности, в США известны компании, которые уже на протяжении многих лет успешно занимаются разработкой таких САПР. Например, в Салфордском университете Великобритании («*University of Salford*») под руководством *G. Boothroyd* был разработан программный модуль проектирования БЗУ для широкого спектра изделий машиностроения.

Поэтому актуальной задачей по автоматизации процесса проектирования конструкций БЗУ для штучных изделий является создание САПР и в нашей стране, которая позволит создавать конструкторскую документацию целевых БЗУ для Т-образных элементов упаковки, автоматизируя процесс расчета и проектирования конструкций БЗУ, тем самым значительно снижая затраты ручного труда.

САПР механических БЗУ должна содержать проектирующие подсистемы, которые выполняют конкретные проектные операции, например, расчет параметров БЗУ, моделирование процессов захвата, ориентирования изделий в БЗУ, моделирование производительности БЗУ, и обслуживающие, которые поддерживают работоспособность проектирующих подсистем и обеспечивают их взаимосвязь. Структурное единство каждой из подсистем САПР обеспечивается с помощью системных компонентов САПР, представляющих собой совокупность методического, математического, лингвистического, технического, программного, информационного, организационного эргономического и правового обеспечений [6].

Математическое обеспечение, объединяющее математические методы, модели и алгоритмы, представлено аналитическими и математическими моделями процессов захвата, ориентирования штучных изделий и производительности БЗУ, учитывающими влияние геометрических и физико-механических параметров загружаемых изделий на конструктивные и кинематические параметры БЗУ [7-16].

Производительность целевого БЗУ определяется выражением

$$P_{\text{БЗУ}} = 60 \frac{vk}{\pi D_{\text{ш}}^2} \eta, \quad (1)$$

где v – окружная скорость захватывающих органов; k – число захватывающих органов; η – коэффициент выдачи, определяемый выражением

$$\eta = \eta_{\max} (1 - \varepsilon v^4), \quad (2)$$

η_{\max} – наибольшая величина коэффициента выдачи, соответствующая окружным скоростям гнезда близким к нулю; ε – коэффициент, учитывающий влияние скорости на процесс захвата [17].

В работе [18] были получены вероятностные коэффициенты аналитической модели производительности щелевого БЗУ для Т-образных пробок, определяющие величину η_{\max} :

$$\eta_{\max} = \frac{2(p_{k_1} + (1 - p_{k_1} - p_{k_2})p_{l_3})}{\left(1 + \frac{l}{d_{\Gamma}}\right)} \left(1 - \frac{\arctan \mu}{\pi} \frac{0,9 + 1,4 \frac{l}{d_{\Gamma}}}{1 + 2 \frac{l}{d_{\Gamma}}}\right), \quad (3)$$

где p_{k_1} , p_{k_2} – вероятности того, что пробка ляжет на дно бункера головкой и стержнем соответственно, определяемые выражениями

$$p_{k_1} = \frac{1}{2} - \frac{l_{\Phi} - l_{\text{ц}} + l_{\text{с}}}{\sqrt{4(l_{\Phi} - l_{\text{ц}} + l_{\text{с}})^2 + d_{\Gamma}^2}}; \quad p_{k_2} = \frac{1}{2} - \frac{l_{\text{ц}} - l_{\text{о}}}{\sqrt{4(l_{\text{ц}} - l_{\text{о}})^2 + d_{\text{с}}^2}}; \quad (4)$$

l – длина пробки; $l_{\text{с}}$ – длина стержня пробки; $d_{\text{с}}$, d_{Γ} – диаметры стержня и головки пробки; l_{Φ} – высота фланца; $l_{\text{ц}}$ – расстояние от плоскости цилиндрического торца до центра масс предмета обработки; $l_{\text{о}}$ – высота основания; p_{l_3} – вероятность поворота пробки стержневой частью захватывающему органу, определяемая выражением

$$p_{l_3} = \frac{1}{\pi} \left(2 \arccos \frac{l_{\text{ц}} - l_{\text{о}}}{\sqrt{(l_{\text{ц}} - l_{\text{о}})^2 + \frac{d_{\text{с}}^2}{4}}} - \arcsin \frac{\mu}{\text{tg} \alpha_{\text{бун}}} \right); \quad (5)$$

μ – коэффициент трения пробок о дно бункера БЗУ; $\alpha_{\text{бун}}$ – угол наклона к горизонту дна бункера щелевого БЗУ.

На следующем этапе для построения модели производительности щелевого БЗУ необходимо определение коэффициента ε из условий удара Т-образной пробки о стенки щели вследствие слишком высоких окружных скоростей v_{\max} вращающегося диска, который в соответствии с работами [7-13] будет равен $\varepsilon = v_{\max}^{-4}$.

Учитывая, что процесс захвата Т-образных пробок схож с захватом изделий зубчатым БЗУ, с учётом работы [8] получим

$$v_{\max} = \left(\sqrt{\frac{B}{d_{\text{с}}} - 0,25} \right) \sqrt{g d_{\text{с}}}, \quad (6)$$

где B – ширина паза щелевого БЗУ ($B = 1,1 \dots 1,3d_c$). Принимая $B = 1,25d_c$, получим

$$\varepsilon = \frac{1}{g^2 d_c^2} \quad (7)$$

Выражения (1)-(7), описывающие изменение производительности щелевого БЗУ от его параметров и параметров загружаемых Т-образных пробок, представляют собой математическое обеспечение САПР.

Методическое обеспечение, представляющее собой описание технологии функционирования САПР, методов выбора и применения пользователями технологических приемов для получения конкретных результатов, включает в себя теорию процессов функционирования БЗУ, методы анализа, методики проектирования БЗУ [1, 16, 19, 20].

На основе известных методик проектирования на рисунке представлен алгоритм проектирования щелевого БЗУ (m, m_c, m_T – масса пробки, стержня и головки пробки).



Алгоритм проектирования щелевого бункерного загрузочного устройства

На следующем этапе было разработано прикладное программное обеспечение САПР, реализующего математическое обеспечение для непосредственного выполнения проектных процедур и включающего пакеты прикладных программ, предназначенные для обслуживания определенных этапов проектирования и решения групп однотипных задач внутри этих этапов. Разработан целый ряд прикладных программ в среде *MathCAD*, ко-

торая позволяет определять граничные условия и закономерности протекания процессов, реализуемых в БЗУ, КОМПАС-3D, в котором представлены конструкторские документации различных БЗУ и 3D-модели их функционирования и сборки. Дальнейшей задачей разработки САПР является создание общесистемного программного обеспечения в среде *MicrosoftVisualBasic*, которое позволит обеспечить совместное функционирование прикладных программ.

Список литературы

1. Давыдова Е.В., Прейс В.В. Теоретические основы проектирования дискового зубчатого бункерного загрузочного устройства с кольцевымориентатором // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2013. № 7. С. 8-14.

2. Давыдова Е.В., Давыдов И.Б. Проблемы автоматической загрузки штучных предметов обработки механическими центробежными бункерными загрузочными устройствами // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2009. Вып. 1. Ч. 1. С. 54-61.

3. Гравитационные ориентаторы в роторных системах автоматической загрузки технологических роторных машин / А.Г. Астраханцев, Е.В. Давыдова, В.А. Крюков, И.Н. Пахомов, В.В. Прейс; под науч. ред. В.В. Прейса. Тула: Изд-во ТулГУ, 2016. 184 с.

4. Давыдова Е.В., Ганков Е.А. Автоматические роторные машины для розлива алкогольных напитков и укупорки бутылок Т-образными пробками // Проблемы и перспективы развития науки и образования в XXI веке: сб. материалов Международ. (заоч.) науч.-практ. конф. 2017. С. 100-104.

5. Давыдова Е.В., Ганков Е.А. Автоматическая загрузка Т-образных пробок в линии розлива алкогольных напитков // Наука, образование, инновации: апробация результатов исследований: сб. материалов Международ. (заочной) науч.-практ. конф. 2017. С. 107-113.

6. Основы теории САПР механических дисковых бункерных загрузочных устройств в пищевой промышленности/Е.В. Давыдова, И.Б. Давыдов, С.С. Колобаев, И.И. Чекмасова // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2015. Вып. 9. С. 78-87.

7. Давыдова Е.В., Прейс В.В. Аналитическая модель производительности бункерного загрузочного устройства с радиальными гнездами и кольцевымориентатором // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2009. № 11. С. 23-30.

8. Голубенко В.В., Давыдова Е.В., Прейс В.В. Аналитическая модель производительности дискового зубчатого бункерного загрузочного устройства с кольцевымориентатором // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2011. Вып. 6. Ч. 2. С. 104-113.

9. Бурцев Д.В., Давыдова Е.В., Прейс В.В. Математическая модель производительности дискового бункерного загрузочного устройства с радиальными профильными гнездами // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2014. №9. С. 33-36.

10. Давыдова Е.В., Прейс В.В., Провоторова К.Н. Математическая модель производительности дискового бункерного загрузочного устройства с тангенциальными профильными гнездами // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2014. №10. С. 7-10.

11. Давыдова Е.В., Дружинина А.В., Прейс В.В. Математическая модель производительности механического дискового зубчатого бункерного загрузочного устройства с параметрическими отказами // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2015. № 10. С. 11-15.

11. Давыдова Е.В., Пантюхин О.В. Аналитические модели производительности бункерных загрузочных устройств для сувенирной ПЭТ-тары с неявно выраженной асимметрией // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2016. Вып. 7. Ч. 2. С. 274-281.

12. Давыдова Е.В., Прейс В.В., Чурочкин А.В. Математическая модель производительности вертикального бункерного загрузочного устройства для плоских асимметричных предметов обработки // Прогресивні технології і системимашинобудування. 2016. № 3 (54). С. 36-40.

13. Давыдова Е.В., Хачатурян А.В. Моделирование процесса пассивного ориентирования штучных предметов обработки в механических дисковых бункерных загрузочных устройствах // Автоматизация и приборостроение: проблемы, решения: сб. материалов Междунар. науч.-технич. конф. / науч. ред. В.Я. Копп. 2017. С.65-66.

14. Астраханцев А.Г., Давыдова Е.В., Прейс В.В. Динамика процесса ориентирования изделия в гравитационном ориентаторе с L-образным захватом роторного ориентирующего устройства // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2009. Вып. 1. Ч. 1. С. 18-27.

15. Давыдова Е.В., Прейс В.В. Аналитическая модель процесса ориентирования деталей с неявно выраженной асимметрией торцов // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2009. №9. С. 33-37.

16. Давыдова Е.В., Прейс В.В. Аналитическая модель и методика расчёта производительности вертикального бункерного загрузочного устройства // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2010. №9. С. 27-31.

17. Давыдова Е.В., Прейс В.В. Механические бункерные загрузочные устройства в пищевой промышленности / под науч. ред. В.В. Прейса. Тула: Изд-во ТулГУ, 2012. 120 с.

18. Давыдова Е.В., Ганков Е.А. Определение вероятностных коэффициентов аналитической модели производительности щелевого бункерного загрузочного устройства для T-образных пробок // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2017. Вып. 2. С. 266-273.

19. Голубенко В.В., Давыдова Е.В. Вопросы проектирования дискового зубчатого бункерного загрузочного устройства с кольцевым ориентатором // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2011. Вып. 3. С. 11-16.

20. Давыдова Е.В., Прейс В.В. Теоретические основы проектирования механических дисковых бункерных загрузочных устройств // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2013. Вып. 7-1. С. 10-20.

21. Давыдова Е.В., Ганков Е.А. Основы расчёта основных параметров щелевого бункерного загрузочного устройства для Т-образных пробок // Результаты современных научных исследований и разработок: сб. материалов Междунар. (заоч.) науч.-практ. конф. / под общей ред. А.И. Вострецова. 2017. С. 57-63.

Давыдов Иван Борисович, технический эксперт, svoryi@gmail.com, Россия, Краснодар, ООО «GEA»,

Пантюхина Елена Викторовна, канд. техн. наук, доц., elen-davidova@mail.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет

*DEVELOPMENT OF THE MATHEMATICAL AND METHODOLOGICAL SUPPORT
OF A SPHERICAL HOPPER FEEDING DEVICE FOR PACKAGING ELEMENTS
IN THE TYPE OF T-SHAPED CROPS*

I.B. Davidov, E.V. Pantyukhina

The questions of creation, mathematical and methodical maintenance of CAD slit hopper feeding device for automatic loading of rotary machines and lines for bottling sparkling wines, champagne and elite alcoholic beverages with packing elements in the form of T-shaped plugs are considered.

Key words: disk slit hopper feeding device, T-shaped plugs, automatic feeding, CAD.

Davidov Ivan Borisovich, technical expert, svoryi@gmail.com, Russia, Krasnodar, ООО "GEA",

Pantyukhina Elena Viktorovna, candidate of technical sciences, docent, elen-davidova@mail.ru, Russia, Tula, Tula State University

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПРУЖИН СЖАТИЯ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ УПРОЧНЯЮЩИХ ОПЕРАЦИЙ

Ю.А. Лавриненко

Приведена разработанная методика количественной оценки величины остаточных напряжений на поверхности пружины клапана двигателя автомобилей после упрочняющих операций: термоосадки при повышенной температуре, дробеметной обработки и трехкратной холодной осадки.

Ключевые слова: пружина клапана; дробеструйная обработка; термоосадка; холодная осадка.

В процессе изготовления пружины клапана двигателя автомобилей проходят три упрочняющих операции: термоосадку при повышенной температуре, дробеметную обработку и трехкратную холодную осадку [1]. После упрочняющих операций в пружине создается сложное напряженно-деформированное состояние (НДС) с остаточными напряжениями на поверхности пружины, повышающими сопротивление усталости и стойкость к температурной релаксации нагрузки.

Вместе с тем, в известной литературе отсутствуют методики количественной оценки величины остаточных напряжений на поверхности пружины. Данная статья посвящена экспериментальной проверке НДС пружины при выполнении упрочняющих операций.

Метод травления пружин и контрольной пластинки. Для оценки глубины расположения отрицательных остаточных напряжений сдвига на поверхности витка пружины после термоосадки, т.е. для уточнения относительного радиуса, при котором напряжения переходят в остаточные положительные, образцы пружин подвергали травлению в горячей, концентрированной соляной кислоте при температуре $\leq 100^{\circ}\text{C}$. Общее время травления составило около 3 ч. На рис. 1 представлены результаты изменения высоты пружины H_0 в зависимости от уменьшения диаметра сечения витка. При замерах длины пружины учитывалось её уменьшение за счёт протравливания торцевых участков.

Пружина из материала Oteva 60 была подвергнута только термоосадке, пружина из проволоки 70ХГФА-Ш - подвергнута термоосадке и дробеметному наклёпу при прогибе контрольной пластинки $\delta=0,25$.

Как видно из графика на рис.1 стравливание поверхностных наклёпанных слоев у пружины, подвергнутой дробеметной обработке, не приводит к значительным изменениям высоты.

И только после стравливания наклёпанного слоя значительно изменяется высота. Объясняется это тем, что остаточные касательные напряжения в наклёпанном слое почти исчезают. И, наоборот, у пружины из про-

волокни «Oteva», подвергнутой только термоосадке, в поверхностных волокнах сечения созданы значительные остаточные отрицательные касательные напряжения. При стравливании первых же слоев самоуравновешенная эпюра остаточных напряжений теряет наиболее важную часть и происходит увеличение высоты пружины за счёт уменьшения остаточного кручения.

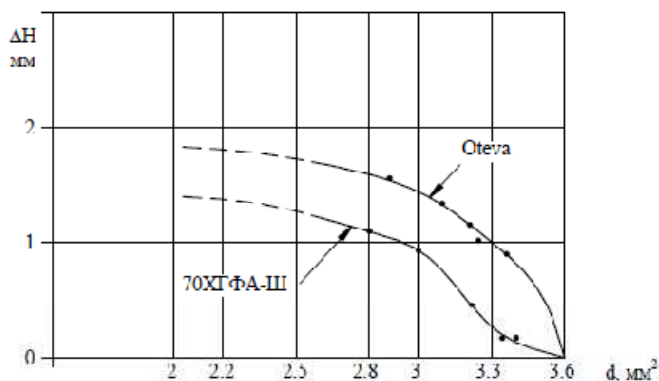


Рис.1. Изменение высоты пружины 2112 в процессе травления: сталь Oteva 60–после термоосадки; сталь 70ХГФА-III – после термоосадки и дробеметной обработки

Аналогичной обработке в горячей кислоте подверглись и контрольные пластинки (свидетели уровня наклёпа).

Контрольная пластинка, закреплённая на жёстком основании, подвергнутая дробемётной обработке с одной стороны, после освобождения изгибается. Радиус кривизны зависит от полученной пластической деформации, распределённой по глубине нагартованного слоя.

Если снять некоторый слой металла (например, травлением в кислоте), то радиус кривизны увеличится, т.к. часть пластической деформации удалена вместе с материалом. Серия таких операций позволяет построить зависимость $\rho(t)$ (ρ –радиус кривизны, t – толщина пластинки).

На практике измеряют не радиус кривизны, что затруднительно, а стрелу прогиба h пластинки с помощью приспособления с индикатором часового типа.

Из геометрических построений можно определить зависимость между радиусом сферы ρ и прогибом пластины h :

$$2\rho \sin \left[\arccos \left(\frac{\rho - h}{\rho} \right) \right] = \sqrt{a^2 + b^2} = c, \quad (1)$$

где c – диагональ прямоугольника, образованного опорными точками приспособления.

Были изучены не только глубина наклёпа δ_i , но и влияние твёрдости пластинки HRC, на глубину наклёпа и её прогиб h (рис.2). Для ускорения травления кислота также нагревалась до температуры ≤ 100 °С. При этой температуре остаточные напряжения практически не релаксируют.

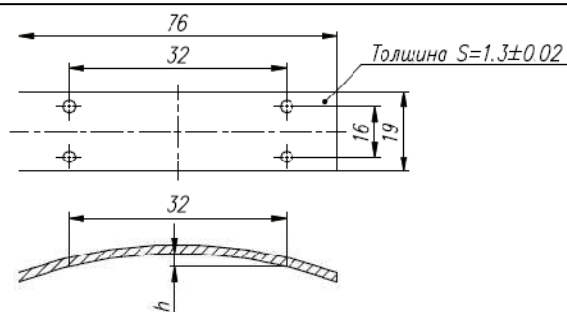


Рис.2. Пластика для контроля интенсивности наклепа

График изменения прогиба h пластинки в зависимости от изменения её толщины S приведён на рис. 3. Общее время травления составило примерно 3 ч.

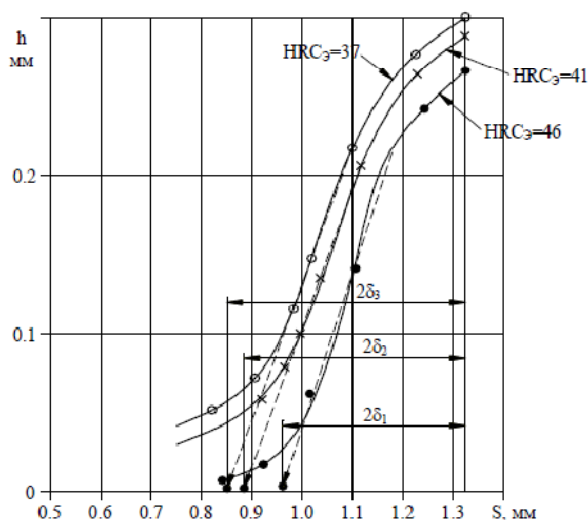


Рис.3. Зависимость прогиба пластины h от её толщины S и твердости при травлении в кислоте; δ – глубина наклепа

Рассматривая результаты эксперимента, можно сделать вывод о том, что изменение твёрдости пластинки значительного влияния на её прогиб не оказывает. И этому есть простое объяснение. В работах [3 - 5] показано, что, чем прочнее материал, тем меньше глубина наклёпа, но выше напряжения двухстороннего сжатия. Например, на нетермообработанных сталях глубина наклёпа может быть до 0,8 мм, а остаточные напряжения $\sigma_1 \approx \sigma_2 = 40 \dots 45 \text{ кгс/мм}^2$. С увеличением прочности и твердости до параметров, соответствующих пружинной проволоке, глубина наклёпа δ_H уменьшается, а напряжения $\sigma_1 \approx \sigma_2 \approx 100 \text{ кгс/мм}^2 (1000 \text{ МПа})$.

Из рис.3 и таблицы видно, что пластинки полностью выпрямятся при уменьшении толщины с 1,32 до 0,95...0,85 мм, что соответствует глубине наклёпа $\delta_H = 0,18 \dots 0,24 \text{ мм}$.

Исследование остаточных напряжений от дробеметной обработки рентгеновским методом. Из партии пружин клапана 2108-1007020, изготавливаемых из одного мотка проволоки 70ХГФА-Ш с диаметром проволоки 3,6 мм, были отобраны образцы после дробеметной обработки.

Прогиб контрольной пластинки при наклёпе составил $h = 0,41$ мм. Время наклёпа - 16 минут, дробь стальная литая, диаметром 0,5 мм, скорость дробы ~ 65 м/с, т.е. пружины были наклёпаны даже сверх допуска.

Зависимость первоначального прогиба h пластинки от твёрдости $HRC_{\text{э}}$ и изменения прогиба от глубины травления

HRC _э =46		HRC _э =41		HRC _э =37	
S	h	S	h	S	h
1,32	0,275	1,32	0,300	1,32	0,310
1,26	0,250	1,25	0,285	1,26	0,285
1,14	0,150	1,14	0,225	1,13	0,235
1,08	0,100	1,07	0,180	1,07	0,195
1,03	0,060	1,03	0,145	1,02	0,160
0,97	0,030	0,99	0,097	0,98	0,115
0,94	0,025	0,95	0,065	0,93	0,070
0,91	0,010	0,915	0,050	0,90	0,055
0,83	0,005	0,84	0,025	0,82	0,030

Практика показала, что перенаклёп пружин не является браковочным признаком, динамическая прочность при этом не уменьшается. Образцы пружин были разделены на три группы с разной последующей термообработкой:

- 1 группа - без термообработки.
- 2 группа - отпуск при 220 °С в течение 30 мин (по техпроцессу).
- 3 группа - отпуск при 350°С в течение 15 мин в шахтной печи, т.е.

явный перегрев, при котором возможна серьёзная релаксация остаточных напряжений.

Пружины были отправлены на фирму "Sonats" (Франция) - изготовитель рентгеновских дифрактомеров XSTRESS 3000 для определения величины и глубины распространения остаточных напряжений. Вышеуказанное оборудование позволяет определить рабочие и остаточные напряжения на поверхности металла, в том числе и при поверхностном пластическом деформировании (ППД - обработке) с целью упрочнения. Метод определения напряжений - дифракцией рентгеновских лучей, что позволяет получать информацию только на поверхности, т.е. на глубине нескольких шагов кристаллической решётки атомов. Замер напряжений на глубине осуществлялся пошаговым снятием материала химическим травлением. Снятие части материала с напряжениями вызывает некоторое изменение эпюры напряжений, т.к. она снова становится равновесной по сечению. Для уточнения исходных напряжений производился расчёт по математическим моделям, изложенным в нормали SaeJ784a. Итоговая погрешность результатов измерений напряжений составила ± 40 МПа, или ~5% от максимального уровня.

Результаты исследований приведены на рис.4, а, б. Эпюры напряжений приведены для направления вдоль проволоки витка (δ_1).

В поперечном направлении (σ_2) эпюры напряжений отличаются незначительно, поэтому они не приведены.

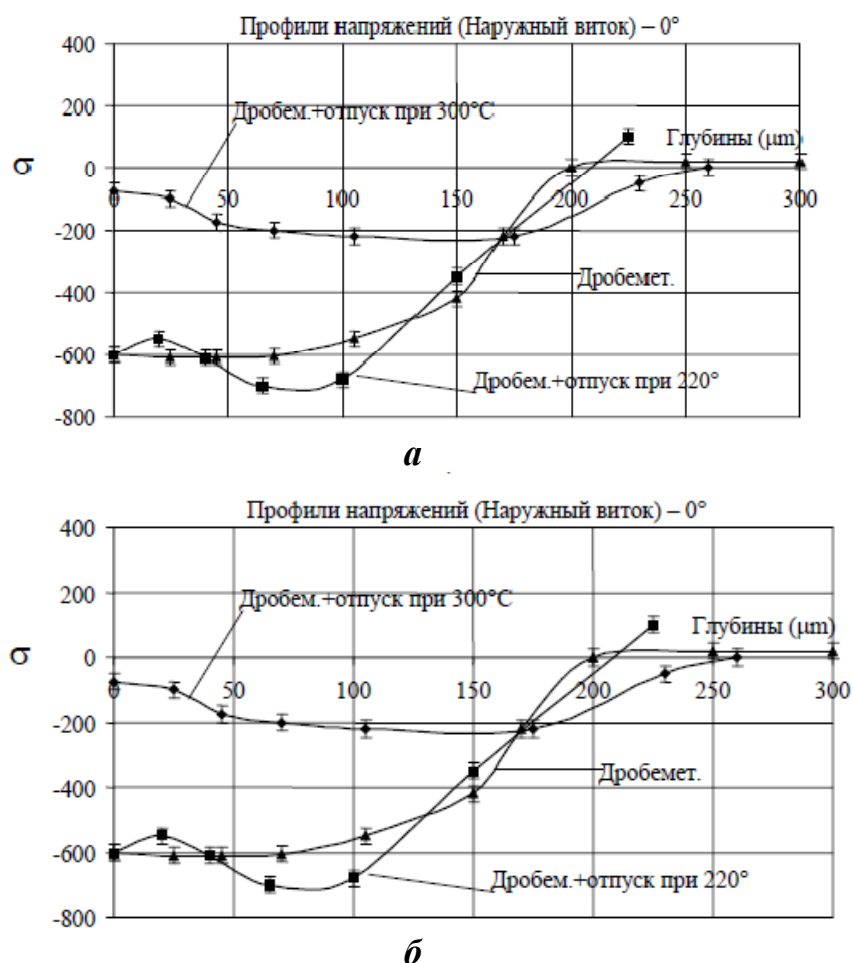


Рис. 4. Профили напряжений сжатия после дробеметной обработки:
а - наружные волокна витка; б - внутренние волокна витка

Заключение

Анализируя результаты исследований, проведенных методом травления пружин и пластин, а также рентгеновским методом, были сделаны следующие выводы:

1. Изменение твердости пластинки значительного влияния на её прогиб при травлении не оказывает.

2. Глубина наклепанного слоя, определенная методом травления пластинки, составила $\delta=0,18...0,24$ мм.

3. Максимальные напряжения двухстороннего сжатия после дробеметной обработки и холодной осадки, определенные рентгеновским методом, составила 600...750 МПа, что соответствует 38...45 % от предела текучести материала.

2. Остаточные напряжения на внутреннем волокне практически такие же, как на внешнем, т.е. и внутренние волокна пружин также наклепаны до насыщения.

3. Глубина остаточных напряжений, определенная рентгеновским методом, составляет $\delta =0.18... 0.25$ мм, что соответствует результатам экспериментов и расчётам, приведённых в работе [2].

4. Последующая термообработка при 220°C в течение 30 мин не приводит к существенному изменению остаточных напряжений ни по их величине, ни по глубине их распространения.

5. Последующая даже кратковременная термообработка при повышенных температурах (350°C, время обработки - 15 мин) приводит к значительному уменьшению остаточных напряжений (примерно в 5 раз), что повышает возможность роста усталостных трещин и уменьшает динамическую прочность пружин.

Список литературы

1. Лавриненко Ю.А., Белков Е.Г., Фадеев В.В. // Упрочнение пружин. Издательский дом «Бизнес-Партнёр», 2002. 124 с.
2. Лавриненко Ю.А. Математическая модель процесса упрочнения пружин клапана двигателей автомобилей // Заготовител.пр-ва в машиностроении. 2017. Т. 15. № 7. С. 302-310.
3. HaldexGarphyttan Wire/ Reklam Center AB, 6335-3, Vasteras, ' Sweden, 5000//VastraArosTryckeri.1996-09. 20с.
4. Саверин М.М. Дробеструйный наклёп. М.: Машгиз, 1955. 136 с.
5. Остроумов В.П. Карпунин В.А. Повышение динамической прочности пружин. Урало-Сибирское отделение Машгиза, 1961. 114 с.

Лавриненко Юрий Андреевич, канд. техн. наук, доц., mpf-tula@rambler.ru, Россия, Москва, ФГУП «НАМИ»

EXPERIMENTAL TESTING OF MODE OF STRESS AND DEFORMATION OF SPRINGS AFTER HARDENING

Yu.A. Lavrinenko

New method of developing of testing of mode of stress and deformation on surface of valve spring of automobile motor after hardening processes: thermal upsetting, cloud burst hardening and triple cold upsetting.

Key words: valve spring, cloud burst hardening, thermal upsetting, cold upsetting.

Lavrinenko Yuriy Andreevich, candidate of technical sciences, docent, mpf-tula@rambler.ru, Russia, Moscow, Federal State Unitary Enterprise «NAMI»

ВОЕННО-СПЕЦИАЛЬНЫЕ НАУКИ

УДК 004.89; 004.052.44; 004.056.5

МЕТОДИКА ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ВОЕННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

С.В. Войцеховский, С.В. Калиниченко, А.В. Галанкин, Н.С. Топорков

Предлагаемая авторами методика основана на уточнении базы правил нечёткого вывода системы поддержки принятия решения с помощью лингвистической модификации функций принадлежности и позволяет автоматизированно устранять ошибки ложных срабатываний при оценке степени уверенности в наличии программных воздействий в автоматизированной системе военного назначения.

Ключевые слова: коэффициент лингвистического модификатора, лингвистический терм, функции принадлежности, программные воздействия.

В настоящее время особую актуальность приобретает проблема защиты информационных ресурсов автоматизированных систем от деструктивных воздействий вредоносных программ. Она затрагивает все более или менее значимые системы и комплексы военного, военно-промышленного и государственного назначения. Это могут быть боевые средства индивидуального пользования, крупные ракетно-космические системы, штабы и пункты управления войсками и оружием, автоматизированные системы военного назначения (АС ВН), системы управления предприятиями, экономикой, государством в целом.

Так, в работе [1] выделяют следующие основные атакующие способы и средства программно-математического информационного оружия:

– способы и средства, позволяющие внедрять логические бомбы и вирусы в информационные сети противника;

– программные закладки, заранее внедряемые в информационно-управляющие центры, компьютерные сети, программно-технические средства, которые самостоятельно (в установленное время) или по специальному сигналу приводятся в действие, уничтожая (искажая) информацию или дезорганизуя их работу и др.

Таким образом, большую научную и практическую значимость приобретают вопросы повышения устойчивости функционирования средств, систем и комплексов различного (в том числе военного) назначения, связанных с обработкой информации и управления, с целью защиты их от известных традиционных и новых видов информационных воздействий. При этом штатные антивирусные средства защиты автоматизированных систем не гарантируют абсолютной защиты, в особенности от ранее неизвестных вредоносных программ.

Существует множество разработок в области обнаружения аномалий, но в системах военного назначения они используются редко и с большой осторожностью, так как главными трудностями при разработке таких систем являются: сложность формирования базы знаний (правил) и большое количество ложных срабатываний. Основной проблемой использования технологии обнаружения аномального поведения является необходимость построения модели штатного поведения защищаемого объекта, что представляется трудно формализуемой задачей и приводит к большому числу ошибок 1-го и 2-го рода.

Системы с нечёткой логикой не могут автоматически приобретать знания для использования их в механизмах вывода [2]. Ошибки программ могут быть обнаружены только пользователями АС ВН.

Так в работах [3-5] решалась задача выявления вредоносных программных воздействий (ПВ) в АС ВН с использованием математического аппарата нечётких множеств и алгоритма нечеткого вывода Мамдани. Однако испытания прототипа СППР, разработанного по результатам этих работ, выявили большое количество ложных срабатываний.

В настоящей статье рассматривается методика уточнения базы правил нечёткого вывода на основе лингвистической модификации функции принадлежности (ЛМФП), что позволит повысить устойчивость функционирования АС ВН за счет уменьшения количества ложных срабатываний.

Допустим, что СППР приняла ошибочное решение о наличии ПВ (например: в её управляющем решении из за изменения степени уверенности в наличии ПВ в АС ВН лингвистический терм «низкая» заменён на «ниже среднего»), осуществила запись об этом в журнал событий СППР, тогда вышеуказанная методика, предназначенная для уменьшения ложных срабатываний будет состоять из следующих шагов:

1. Зная дату и время, когда был обнаружена ошибка необходимо получить из журнала событий СППР:

1.1. Входные данные, которые привели к ошибке ($u_1, u_2, u_3, u_4, u_5, u_6$), где u_1 – количество попыток неудачного входа в систему за последний час; u_2 – количество попыток неудачного входа в систему за последние 24 ч; u_3 – средняя нагрузка на сетевой интерфейс (в % от максимальной нагрузки за последнюю минуту); u_4 – соответствие номеров открытых портов «эта-

лону» (u_{04}); u_5 – соответствие имён выполняемых процессов, пути к файлам и их контрольных сумм «эталону» (u_{05}); u_6 – соответствие текущего времени суткам рабочему времени (u_{06}).

1.2. Значение степени уверенности СППР [5,9] в наличии ПВ в АС ВН – y . Функцией принадлежности (ФП) выходной переменной y является $G_i(y)$ – степень уверенности в наличии ПВ.

1.3. Номер правила n , имевший максимальную степень истинности предпосылок из всех правил на момент совершения ошибки (как правило, существует одно такое правило, см. шаг № 7 методики, формула (6)).

В табл. 1 приведены указанные выше данные, соответствующие им типы ФП, лингвистические термы (ЛТ) и другие параметры для построения ФП СППР [3].

Таблица 1
Основные параметры функций принадлежности СППР

№ п/п	ФП	№ ЛТ	Тип формулы	ЛТ	Параметры				
					u_i	a_i	b_i	s_i	h_i
1	$A_i(u_1)$	1	(2)	Незначительное	$0 \leq u_1 \leq 3.5$	3.5	0	2	-
		2	(2)	Значительное	$3.5 \leq u_1 \leq 8.5$	2.5	6	2	-
		3	(3)	Опасное	$8.5 \leq u_1$	-	-	2	8.5
2	$B_i(u_2)$	1	(2)	Незначительное	$0 \leq u_2 \leq 3.5$	3.5	0	2	-
		2	(2)	Ниже среднего	$3.5 \leq u_2 \leq 6.5$	1.5	5	2	-
		3	(2)	Выше среднего	$6.5 \leq u_2 \leq 9.5$	1.5	8	2	-
		4	(3)	Опасное	$9.5 \leq u_2$	-	-	2	9.5
3	$C_i(u_3)$	1	(2)	Очень низкая	$0 \leq u_3 \leq 0.1$	0.1	0	2	-
		2	(2)	Низкая	$0.1 \leq u_3 \leq 0.2$	0.05	0.15	2	-
		3	(2)	Ниже среднего	$0.2 \leq u_3 \leq 0.4$	0.1	0.3	2	-
		4	(2)	Выше среднего	$0.4 \leq u_3 \leq 0.6$	0.1	0.5	2	-
		5	(2)	Высокая	$0.6 \leq u_3 \leq 0.8$	0.1	0.7	2	-
		6	(2)	Очень высокая	$0.8 \leq u_3 \leq 1$	0.2	1	2	-
4	$D_i(u_4)$	1	(2)	Соответствует	$0 \leq u_4 \leq 0.5$	0.5	0	4	-
		2	(2)	Не соответствует	$0.5 \leq u_4 \leq 1$	0.5	1	4	-
5	$E_i(u_5)$	1	(2)	Соответствует	$0 \leq u_5 \leq 0.5$	0.5	0	4	-
		2	(2)	Не соответствует	$0.5 \leq u_5 \leq 1$	0.5	1	4	-
6	$F_i(u_6)$	1	(2)	Соответствует	$9 \leq u_6 \leq 18$	0.5	0	3	-
		2	(2)	Не соответствует	$18 \leq u_6 \leq 9$	0.5	1	-3	-
7	$G_i(y)$	1	(2)	Очень низкая	$0 \leq y \leq 0.1$	0.1	0	2	-
		2	(2)	Низкая	$0.1 \leq y \leq 0.25$	0.075	0.175	2	-

№ п/п	ФП	№ ЛТ	Тип формулы	ЛТ	Параметры				
					u_i	a_i	b_i	s_i	h_i
7	$G_i(y)$	3	(2)	Ниже среднего	$0.25 \leq y \leq 0.5$	0.125	0.375	2	-
		4	(2)	Выше среднего	$0.5 \leq y \leq 0.75$	0.125	0.625	2	-
		5	(2)	Высокая	$0.75 \leq y \leq 0.9$	0.075	0.825	2	-
		6	(2)	Очень высокая	$0.9 \leq y \leq 1$	0.1	1	2	-

2. Вычислить для правила n (определённого на 1-м этапе) интервал его выходной ФП. В соответствии с параметрами табл. 1 интервал выходной ФП $G_i(y) - L_{G_i}$ задаётся соотношениями

$$L_{G_i} = b_i - a_i \dots b_i + a_i, \quad i = \overline{2,5}, \quad (1)$$

где i – порядковый номер терм-множества для функции принадлежности $G_i(y)$; a_i – половина λ -сечения нечёткого терм-множества; b_i – координата максимума терм-множества (середины ядра терм-множества); h_i – координата пересечения λ -сечения нечёткого терм-множества и функции принадлежности (например, $A_i(u_1)$).

Из уравнения (1), следует, что

$$L_{G_1} = b_1 \dots b_1 + a_1, L_{G_6} = b_6 - a_6 \dots b_6.$$

3. Установить начальные параметры модификатора s' :

– установить порог коэффициента лингвистического модификатора (КЛМ) J_0 ($J_0 := 8$) для того, чтобы остановить процесс корректировки лингвистического модификатора в случае, если результат модификации КЛМ не устранил ошибку;

– установить значение шага обучения лингвистического модификатора k ($k > 0$), как правило, $k = 1$;

– присвоить начальное значение КЛМ $s' := s$,

где s – исходный коэффициент ядра терм-множества в ФП.

4. Установить начальные параметры обучения для правила n : обучающий КЛМ $s_{об}' := s'$ и соответствующий ему результат оценки степени уверенности в наличии ПВ в АС ВН $Y_{об}' := Y$.

5. Установить коэффициент лингвистического модификатора для входных ФП:

$$s' := s' + k.$$

6. При выполнении условия $s' \leq J_0$, перейти на шаг 7, в противном случае перейти на шаг 11.

7. С помощью формул (2), (3), (4), (5), (7), (8) [3, 6-8] осуществить расчёт модифицированного значения степени уверенности СППР в наличии ПВ в АС ВН – Y' :

$$A_i(u_j) = \frac{1}{1 + \left(\frac{u_j - b_i}{a_i}\right)^{2s}}; \quad (2)$$

$$A_i(u_j) = \frac{1}{1 + e^{-s(u_j - h_i)}}, \quad (3)$$

где u_j – входные данные для переменной A ; a_j – порядковый номер переменной.

$$K_n = \min(A_i(u_j), B_i(u_j), C_i(u_j), D_i(u_j), E_i(u_j), F_i(u_j)), \quad (4)$$

где K_n – агрегированная степень истинности предпосылок правила n ; а $u \in 0,0.01\dots 1$.

$$P_n(y) = \min(K_n, G_i(y)), \quad (5)$$

где $P_n(y)$ – есть модифицированная ФП этих заключений для каждого правила на основе выполнения композиционной операции, модифицированной для нечёткой продукции, между определённым на предыдущем этапе агрегированным значением степеней истинности предпосылок правила, например K_n и соответствующей ФП его заключения $G_i(y)$.

Для получения данных о номере правила имеющим наибольшую активизированную степень истинности из всех правил необходимо сравнить агрегированные степени истинности предпосылок правил (полученных на предыдущем этапе) и найти максимальную из них по формуле

$$K_{\max} = \max(K_n), n = 1, l, \quad (6)$$

где l – количество правил в базе.

Тогда для правила № 1 формула (5) примет следующий вид:

$$P_1(y) = \min(K_1, G_1(y)).$$

Для каждой из выходных ФП производится объединение нечетких множеств и формируется одно нечеткое множество $F_{rez}(y)$ (при этом результаты тех правил, где получено значение 0, не учитываются). Результат аккумуляирования для ФП, активизированных на этапе 3, находится путём объединения соответствующих нечётких множеств с использованием операции \max -дизъюнкции по формуле

$$F_{rez}(y) = \max(P_1(y), P_2(y), \dots, P_l(y)). \quad (7)$$

Результат дефаззификации – чёткое значение Y' выходной переменной y рассчитывается как центр тяжести ФП $F_{rez}(y)$ по формуле

$$Y' = \frac{\int_0^1 y F_{rez}(y) dx}{\int_0^1 F_{rez}(y) dx}, \quad (8)$$

где 0, 1 – границы интервала носителя нечёткого множества выходной лингвистической переменной ω .

8. Проверить выполнение условия в соответствии с формулой

$$(Y' \in L_{G_i}) \vee ((Y' \notin L_{G_i}) \wedge (Y' > (b_i + a_i))), \quad (9)$$

где $(b_i + a_i)$ – верхняя граница интервала L_{G_i} , то перейти на шаг 9, в противном случае перейти на шаг 10.

9. Вернуться на шаг 5 и повторять шаги 5-8 пока выполняется условие (9).

10. Если $Y' < Y_{0\bar{6}}'$, то присвоить правилу обучающий КЛМ

$$s_{0\bar{6}}' := s'$$

и соответствующий ему результат оценки степени уверенности в наличии ПВ в АС ВН $Y_{0\bar{6}}' := Y'$ и перейти на шаг 9.

Если $(Y' \geq Y_{0\bar{6}}') \wedge (s' < J_0)$, то перейти на шаг 9, в противном случае, если $((Y' \geq Y_{0\bar{6}}') \wedge (s' \geq J_0))$, то перейти на шаг 11.

11. Если результат ЛМФП устранил ошибку, т.е. изменение КЛМ оказало существенное влияние на нечёткий вывод (например: в управляющем решении СППР из за изменения степени уверенности в наличии ПВ в АС ВН лингвистический терм «ниже среднего» заменён на «низкая»):

$$(Y_{0\bar{6}}' \notin L_{G_i}) \wedge (Y_{0\bar{6}}' < (b_i - a_i)),$$

то в модуль обучения нечётких правил (см. табл. 2) сохранить следующие изменения по правилу n :

– обучающий КЛМ $s_{0\bar{6}}'$ (показавший наилучший результат по ЛМФП),

– соответствующий ему результат оценки степени уверенности в наличии ПВ в АС ВН – $Y_{0\bar{6}}'$.

Сохранить информацию о найденном обучающем КЛМ $s_{0\bar{6}}'$ и $Y_{0\bar{6}}'$ в журнале событий СППР. Оправить сообщение дежурному администратору об устранении ошибки в правиле № 15 (см. табл. 2).

В противном случае:

– установить коэффициент лингвистического модификатора значение по умолчанию $s := 2$ (см. табл. 1);

– в модуль обучения нечётких правил (см. табл. 2) сохранить следующие изменения по правилу n : обучающий КЛМ: $s_{0\bar{6}}' := 0$, $Y_{0\bar{6}}' := 0$;

– сохранить информацию в журнале событий СППР о невозможности автоматически устранить ошибку, указав номер правила n , которое привело к ошибке.

– оправить сообщение дежурному администратору СППР о невозможности автоматически устранить ошибку с помощью «Методики автоматизированного уточнения степени уверенности СППР в наличии ПВ в АС ВН на основе ЛМФП», указав номер правила n , которое привело к ошибке.

Пример модуля обучения нечётких правил

Номер правила	s	Y		
1	2	0.087	0	0
2	2	0.585	0	0
.
.
.
15	2	0.273	3	0.178
.
.
n	2	x	0	0

Необходимо пояснить, что до ввода СППР в эксплуатацию эксперты самостоятельно оценивают вывод по каждому правилу. Выработка обобщённого мнения экспертов осуществляется в соответствии с методикой согласования экспертных оценок. На основе этих согласованных экспертных мнений формируется база нечётких правил СППР [9].

Поэтому полученные результаты степеней истинности заключений нечётких продукционных правил могут корректироваться путём их алгебраического произведения на весовые коэффициенты соответствующих правил (у остальных правил предполагается, что весовой коэффициент равен единице).

Эксперты могут задавать весовые коэффициенты наиболее важных правил. Метод определения весов состоит в следующем. Пусть x_{ij} – оценка правила i , данная j -тым экспертом, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, m}$, n – число сравниваемых правил, m – число экспертов. Тогда вес i -го правила, подсчитанного по оценкам всех экспертов (W_i),

$$W_i = \frac{\sum_{j=1}^m W_{ij}}{m}, j = \overline{1, m}, \quad (10)$$

где W_{ij} – вес i -го правила, подсчитанного по оценкам j -го эксперта:

$$W_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_i^n x_{ij}}, i = \overline{1, n}.$$

12. На этом шаге уточнение базы правил нечёткого вывода на основе ЛМФП завершено.

Заключение. Системы с нечёткой логикой не могут автоматически приобретать знания для использования их в механизмах вывода.

Авторами разработана методика автоматизированного уточнения степени уверенности СППР в наличии программных воздействий в АСУ ВН, в

которой уточнение базы нечётких правил, в отличие от известных подходов, выполняется на основе ЛМФП для алгоритма Мамдани, что приводит к уменьшению числа ошибок 1 рода при определении ПВ в АСУ ВН.

Наличие не нулевого обучающего коэффициента лингвистической модификации в «Модуле обучения нечётких правил», позволяет уменьшить количество ложных срабатываний СППР (ошибки 1-го рода) при оценке степени уверенности в наличии программных воздействий в АС ВН и, таким образом, повысить устойчивость функционирования военных систем.

Список литературы

1. Прокофьев В.Ф. Тайное оружие информационной войны: атака на подсознание. 2-е изд., расшир. и дораб. М.: Синтег, 2003. 408 с.
2. Круглов В.В., Дли М.И., Голунов Р.Ю. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети: учеб.пособие. М.: Изд-во физ.-мат.лит., 2001. 224 с.
3. Войцеховский С.В., Хомоненко А.Д. Выявление вредоносных программных воздействий на основе нечеткого вывода // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. СПб., 2011. № 3. С. 81-91.
4. Хомоненко А.Д., Войцеховский С.В. Уточнение нечеткого вывода на основе алгоритма Мамдани в системе обнаружения вторжений // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. СПб., 2011. № 4. С. 41-48.
5. Войцеховский С.В., Хомоненко А.Д. Выявление программных воздействий в АСУ ВН с использованием алгоритма нечеткого вывода Мамдани // Проблемы применения войск воздушно-космической обороны в системе операций ВС РФ: сб. тр. Всеарм. военно-науч. конф. СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2013. С. 392-398.
6. Mamdani E.H. Application of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic systems // Fuzzy Sets and Systems, 1977. Vol. 26. P. 1182-1191.
7. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. СПб: БХВ-Петербург, 2003. 736 с.
8. Штовба С.Д. Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику. Винница: Изд-во Винницкого ГТУ, 2001. 198 с.
9. Войцеховский С.В., Хомоненко А.Д. Согласование экспертных оценок при нечётком выводе в системе обнаружения вторжений // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. СПб., 2009. № 4. С. 42-50.

Войцеховский Станислав Витальевич, канд. техн. наук, начальник кафедры, vsv25@mail.ru, Россия, Санкт-Петербург, Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского,

Калиниченко Сергей Владимирович, канд. техн. наук, заместитель начальника кафедры, sergeybka@yandex.ru, Россия, Санкт-Петербург, Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского,

Галанкин Андрей Вячеславович, канд. техн. наук, заместитель начальника кафедры, biruk98@gmail.com, Россия, Санкт-Петербург, Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского,

Топорков Николай Святославович, начальник лаборатории – старший научный сотрудник военного института (научно-исследовательского), k.toporkov@mail.ru, Россия, Санкт-Петербург, Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского

METHODOLOGY FOR DECREASING FALSE POSITIVE IN AUTOMATED SYSTEM MILITARY PURPOSE

S.V. Voytsekhovsky, S.V. Kalinichenko, A.V. Galankin, N.S. Toporkov

The methodology proposed by the authors is based on the specification of the base of rules for the odd output of the decision support system with the help of linguistic modification of the membership functions and allows to automate the elimination of false positives when assessing the degree of confidence in the availability of software effects in an automated military system.

Key words: coefficient of linguistic modifier, linguistic term, membership functions, program effects.

Voytsekhovsky Stanislav Vitalyevich, candidate of technical sciences, vsv25@mail.ru, Russia, Mozhaisky Military Space Academy,

Kalinichenko Sergey Vladimirovich, candidate of technical sciences, sergeybka@yandex.ru, Russia, Mozhaisky Military Space Academy,

Galankin Andrey Vyacheslavovich, candidate of technical sciences, biruk98@gmail.com, Russia, Mozhaisky Military Space Academy,

Toporkov Nikolay Svyatoslavovich, k.toporkov@mail.ru, Russia, Mozhaisky Military Space Academy

ПРИМЕНЕНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ СКАНИРУЮЩЕЙ КАЛОРИМЕТРИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СВОЙСТВ ДИЗЕЛЬНЫХ ТОПЛИВ

Е.В. Береснева, А.П. Ощенко, Е.А. Шарин

Продемонстрирована возможность использования дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) для исследования низкотемпературных свойств дизельных топлив, применяемых для военной и специальной техники. Получены экспериментальные данные, позволившие определить температуры фазовых переходов при охлаждении и нагревании образцов. Рассчитаны теплоты фазовых переходов и массовые доли n-алканов в образцах дизельного топлива. На значение температуры начала фазового перехода в дизельном топливе оказывает влияние массовая доля n-алканов и ДСК позволяет установить количество n-алканов, выделяющихся из жидкого топлива при его охлаждении. Это открывает перспективы в лабораторных условиях определять предельную температуру эксплуатации топливной системы с исследуемым дизельным топливом.

Ключевые слова: дифференциальная сканирующая калориметрия, низкотемпературные свойства, дизельное топливо, предельная температура фильтруемости, фазовые переходы.

Применение дизельных топлив в отличие от автомобильных бензинов и топлив для реактивных двигателей имеет существенные ограничения по температуре. При понижении температуры n-алканы, входящие в состав дистиллятных топлив, проявляют склонность к образованию твердых аморфных или кристаллических фаз, которые значительно повышают вязкость, создают проблемы при прокачивании топлива и могут привести к блокировке топливной системы и невозможности холодного пуска двигателя. По этой причине вопросы низкотемпературных свойств топлив, особенно применяемых в условиях холодного климата, например в Заполярье или в Арктической зоне России, приобретают важное значение.

В топливных спецификациях используют различные методы количественной оценки склонности топлива к образованию твердой дисперсной фазы при понижении температуры, наиболее распространенными являются метод определения предельной температуры фильтруемости (ГОСТ 22254-92 [1]), а также визуальные методы определения температуры помутнения (ГОСТ 5066-91 [2] и ASTM D 2500 [3]). Следует признать невысокую воспроизводимость этих методов и значительные затраты времени для получения результата.

В последние два десятилетия получил развитие метод дифференциальной сканирующей микрокалориметрии (ДСК) для исследовательских целей и рутинного физико-химического контроля. Авторами предпринята попытка применить метод ДСК для анализа низкотемпературных свойств топлива и оценить его способность заменить существующие методики испытаний низкотемпературных свойств дизельного топлива.

Для исследования были взяты образцы дизельного топлива, произведенного на российских предприятиях. Все образцы топлив представляли собой композицию фракций вторичных процессов переработки, в том числе гидроочистки и гидрокрекинга. Отдельные показатели качества топлив приведены в табл. 1.

Таблица 1

Показатели качества образцов дизельного топлива

Наименование показателя	Наименование образца дизельного топлива		
	1	2	3
1. Плотность при 15 ⁰ С, кг/м ³	838,5	803,1	836,8
2. Температура начала кипения, ⁰ С	280,2	143,1	174,5
3. Температура перегонки 90 об.%, ⁰ С	347,8	252,5	327,4
4. Предельная температура фильтруемости, ⁰ С	0	Минус 78	Минус 10
5. Температура помутнения, ⁰ С	3	Минус 66	Минус 6

Измерения тепловых потоков проводились на дифференциальном сканирующем калориметре NETZSCH DSC 204 F1 Phoenix. Охлаждение образца осуществлялось жидким азотом с заданной скоростью. Навеску образца дизельного топлива взвешивали на аналитических весах с погрешностью взвешивания 0,01 мг. Образец помещали в алюминиевый тигель и герметично укупоривали алюминиевой крышкой. Сущность измерений ДСК заключается в определении теплового потока, поступающего из образца при его охлаждении и получаемого образцом при его нагревании с заданными скоростями охлаждения и нагрева. Тепловой поток можно измерить по разнице температуры поверхности тигля с образцом и идентичного полого тигля. Выходной сигнал прибора (удельный тепловой поток, приведенный к единице массы образца, мВт/мг) для наглядности и последующей математической обработки представляют в виде графика зависимости теплового потока от текущей температуры образца. Примеры таких термограмм для трех образцов при скорости охлаждения 10 К/мин, а нагрева 20 К/мин показаны на рис. 1 – 3. Линия отрицательных величин удельных тепловых потоков отражает процесс охлаждения образца, а почти симметрично оси с ординатой 0 мВт/мг наблюдается линия положительных величин удельных тепловых потоков, которые отражают процесс нагрева образца дизельного топлива.

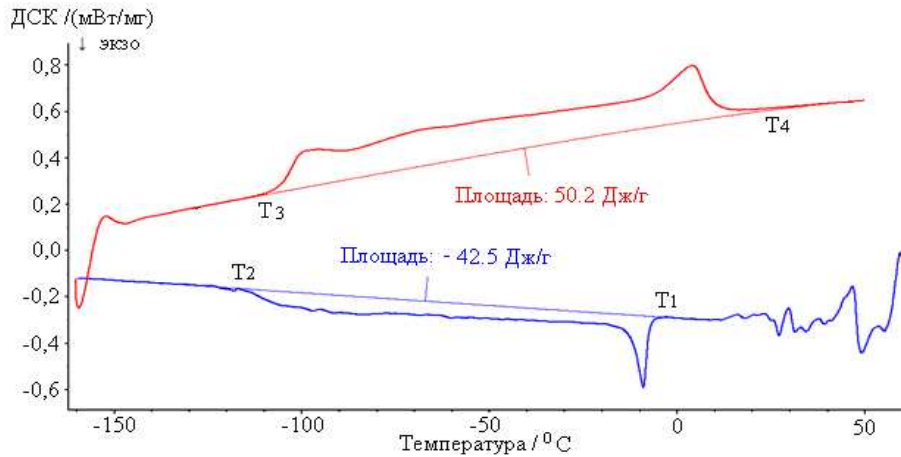


Рис. 1. Термограмма образца 1 скорости охлаждения 10 К/мин и нагрева 20 К/мин

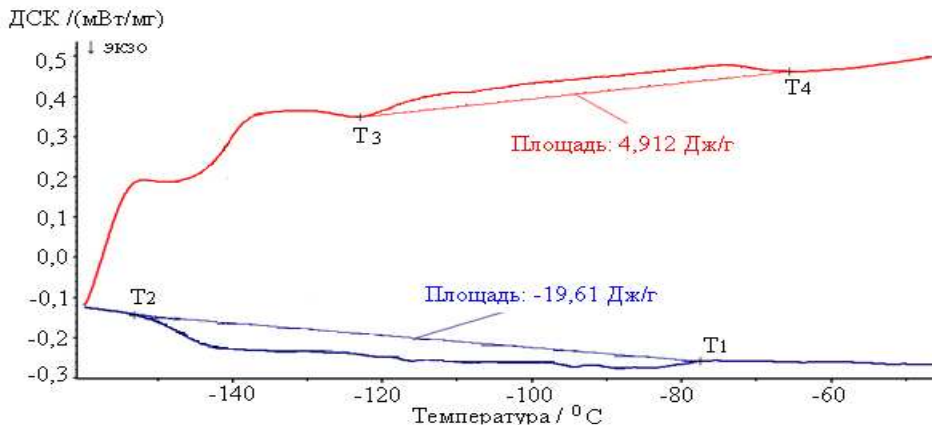


Рис. 2. Термограмма образца 2 скорости охлаждения 10 К/мин и нагрева 20 К/мин

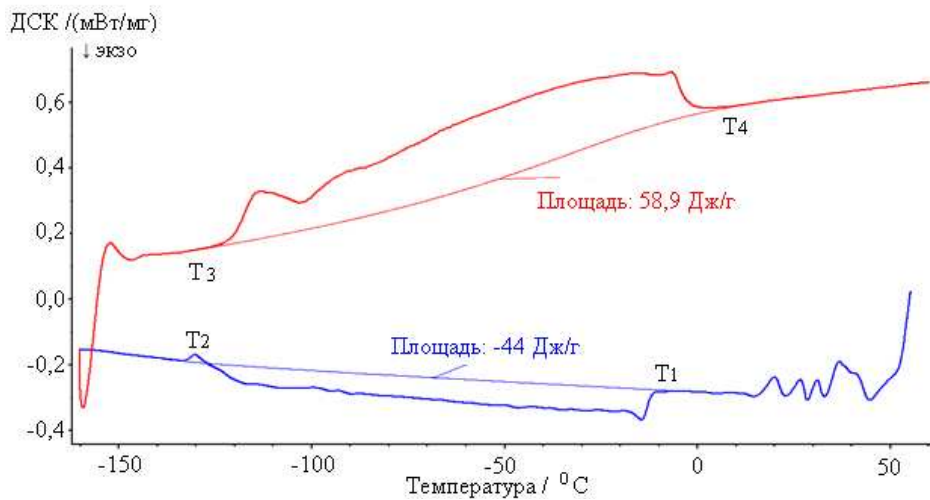


Рис. 3. Термограмма образца 3 скорости охлаждения 10 К/мин и нагрева 20 К/мин

Как хорошо видно на термограммах в области отрицательных температур наблюдается неравномерное изменение тепловых потоков, которое связано с тепловыми эффектами фазовых переходов, протекающими в образце. Положительные экстремумы функции теплового потока от температуры вызваны отрицательным тепловым эффектом – тепло, подводимое к тиглю извне, тратится не только на нагрев, но и на плавление твердой фазы, и, наоборот, отрицательный экстремум на кривой охлаждения вызван положительным тепловым эффектом, которым сопровождается процесс образования твердой фазы из жидкого раствора. На термограммах охлаждения образцов температура начала процесса образования твердой фазы обозначена T_1 , а температура завершения – T_2 , соответственно температуры начала и завершения процессов плавления твердой фазы на термограммах нагрева образцов обозначены T_3 и T_4 . Как хорошо видно температуры T_1 и T_4 не одинаковы, что указывает на неравновесный характер процессов твердения и плавления. Для приближения к равновесному процессу были проведены эксперименты со скоростями нагрева и охлаждения меньше 10 К/мин, результаты которых отражены в табл. 2 и на рис. 4 – 6. Представленные результаты линейно аппроксимированы методом наименьших квадратов зависимостей температур T_1 и T_4 от скорости охлаждения или нагрева образца топлива, полученные в программе MSExcel. Также на рис. 4, 5, 6 приведены уравнения линейной аппроксимации вида $y=a*x + b$ и величины достоверности аппроксимации R^2 .

Таблица 2

Результаты определения методом ДСК температур начала и завершения фазовых переходов T_1 и T_4 в образцах дизельных топлив

Измеряемый параметр, °С	Скорость охлаждения, К/мин					Скорость нагрева, К/мин				
	20	10	8	5	2	20	10	8	5	2
T_1 для образца 1	-7,7	-3,3	-2,1	-0,2	2,2	-	-	-	-	-
T_4 для образца 1	-	-	-	-	-	22,1	15,5	12,2	9,7	4,4
T_1 для образца 2	-82,2	-77,7	-72,2	-70,7	-68,1	-	-	-	-	-
T_4 для образца 2	-	-	-	-	-	-60,1	-63,3	-63,9	-65,1	-65,1
T_1 для образца 3	-9,7	-8,2	-7,1	-6,6	-6,3	-	-	-	-	-
T_4 для образца 3	-	-	-	-	-	2,2	-1,1	-1,5	-3,3	-5,2

В табл. 3 даны результаты расчета температур фазовых переходов в образцах дизельного топлива по данным температурной зависимости T_1 и T_4 от скорости охлаждения и нагревания как аппроксимация к нулевой скорости нагрева или охлаждения, что соответствует равновесной температуре фазового перехода. Эти данные сопоставлены с экспериментальными значениями температуры помутнения, полученными по ГОСТ 5066-91 (см.табл. 1).

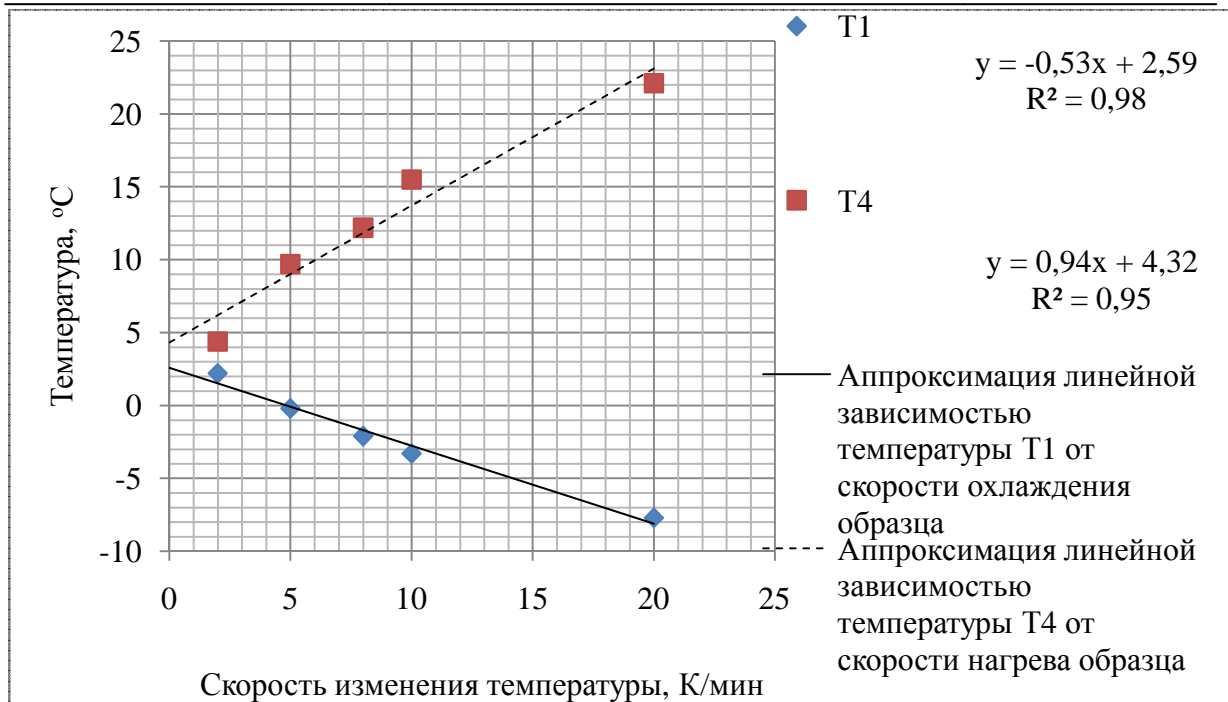


Рис.4. Экспериментальные значения для образца дизельного топлива 1 температур фазовых переходов в дизельных топливах в процессе охлаждения (T_1) и нагревания (T_4) с разными скоростями и результаты линейной аппроксимации зависимостей температур T_1 и T_4 от скорости охлаждения и нагревания

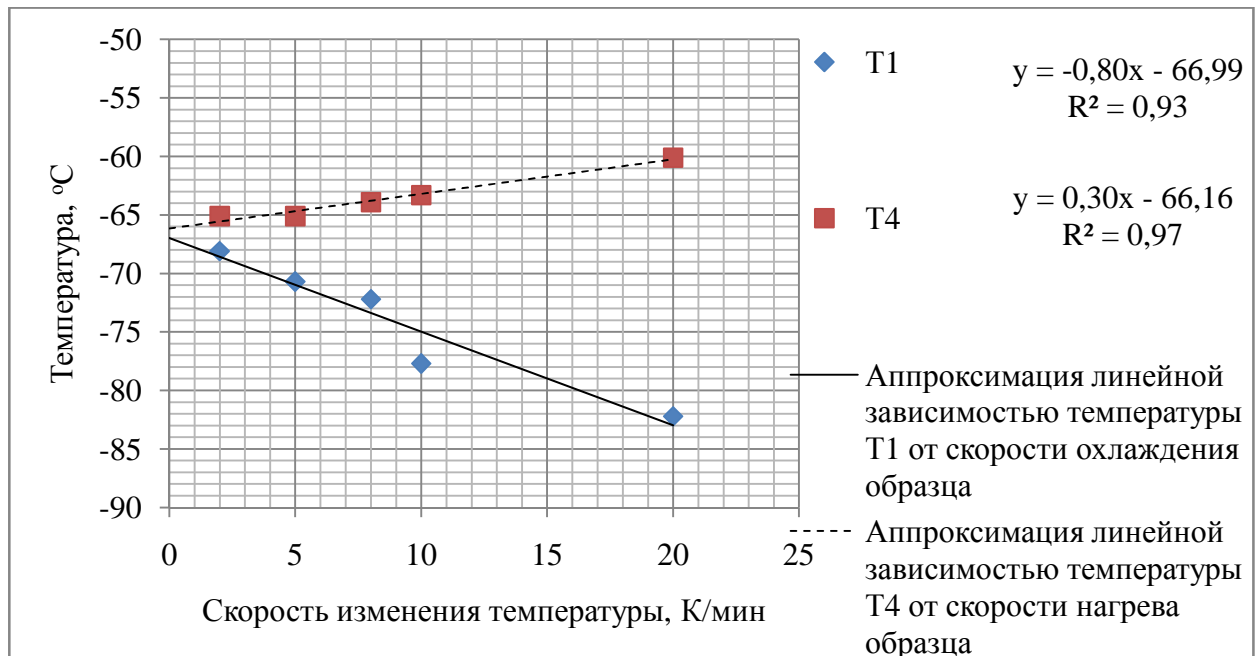


Рис.5. Экспериментальные значения для образца дизельного топлива 2 температур фазовых переходов в дизельных топливах в процессе охлаждения (T_1) и нагревания (T_4) с разными скоростями и результаты линейной аппроксимации зависимостей температур T_1 и T_4 от скорости охлаждения и нагревания

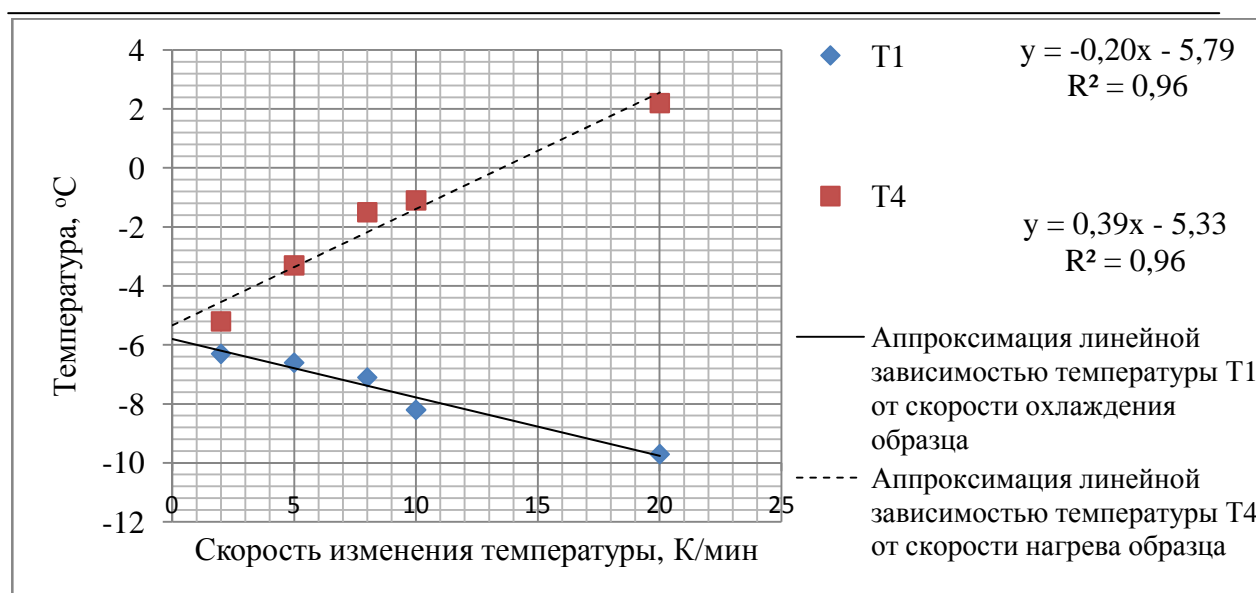


Рис.6. Экспериментальные значения для образца дизельного топлива 3 температур фазовых переходов в дизельных топливах в процессе охлаждения (T_1) и нагревания (T_4) с разными скоростями и результаты линейной аппроксимации зависимостей температур T_1 и T_4 от скорости охлаждения и нагревания

Таблица 3

Результаты расчета равновесной температуры фазового перехода в образцах дизельного топлива

Номер образца дизельного топлива	Аппроксимация зависимости T_1 от скорости охлаждения к нулевой скорости охлаждения, °C	Аппроксимация зависимости T_4 от скорости нагрева к нулевой скорости нагрева, °C	Температура помутнения, °C
1	2,6	4,3	3,0
2	Минус 67,0	Минус 66,2	Минус 66,0
3	Минус 5,8	Минус 5,3	Минус 6,0

Анализ полученной информации позволяет сделать вывод о хорошем согласовании полученных результатов с данными по температуре помутнения. Причем, для аппроксимации может быть использована как зависимость температуры завершения плавления (T_4) от скорости нагрева, так и зависимость температуры начала появления твердой фазы (T_1) от скорости охлаждения.

Программное обеспечение калориметра позволяет провести графическое интегрирование фигуры, образованной линией термограммы с предполагаемым тепловым эффектом и воображаемой линией, которую можно провести в предположении, что такового теплового эффекта нет – напри-

мер, соединить точки начала (T_1 и T_3) и завершения (T_2 и T_4) теплового эффекта прямой линией. На рис. 1-3 показаны результаты такого интегрирования для процесса образования твердой фазы при охлаждении образца и процесса плавления. Численные значения удельных энтальпий фазовых переходов, отнесенных на 1 г топлива, показаны на рис. 7 как результат определения площадей, ограниченных экспериментальными линиями термограмм и предполагаемыми линиями, соединяющими точки T_1 и T_4 .

В недавно опубликованном исследовании [4] методом ДСК получены экспериментальные значения энтальпий фазовых переходов твердых n -алканов C_nH_{2n+2} в жидкие для значений n от 8 до 28. Приведенные в этой публикации значения удельной мольной энтальпии пересчитаны нами в удельную энтальпию на единицу массы n -алкана и показаны в табл. 4.

Таблица 4

Удельная энтальпия фазового перехода твердых n -алканов C_nH_{2n+2} в жидкие по экспериментальным данным [4]

Число атомов углерода в молекуле алкана	Температура плавления, °С	Энтальпия, Дж/г
8	-56,6	165,2
9	-53,7	143,2
10	-30,2	168,3
11	-25,6	163,9
12	-10,1	182,1
13	-5,4	172,6
14	5,2	187,3
15	9,6	175,8
16	17,6	203,8
17	21,6	181,9
18	28,0	205,8
19	31,3	179,9
20	36,6	210,2
21	39,9	183,2
22	43,5	214,6
23	47,1	194,1
24	50,3	216,8
25	53,3	201,5
26	56,0	220,7
27	58,5	206,2
28	60,3	217,3

Среднее значение энтальпии n-алканов с числом углеродных атомов от 8 до 28 составляет 190,2 Дж/г, что существенно больше полученных нами экспериментальных значений, так как только у n-алканов в отличие от изо-алканов и ароматических углеводородов такой высокий уровень энтальпии фазового перехода в твердое состояние. По нашим данным для всех образцов дизельного топлива удельная энтальпия процесса образования твердой фазы составляла от 20 до 44 Дж/г, а для процесса плавления – от 5 до 59 Дж/г.

Наиболее выраженными были тепловые эффекты для образцов 1 и 3 в узкой температурной области от температуры на 5 °С ниже температуры T_1 и температурой T_4 . На термограммах наблюдались «пики» - области экстремальных значений удельного теплового потока. Выдвинуто предположение, что в этих температурных интервалах происходили процессы твердения/плавления n-алканов, обладающих максимальными значениями удельной энтальпии фазового перехода по сравнению с остальными углеводородами, входящими в состав дизельного топлива. В образце дизельного топлива 2, прошедшем по технологической схеме процесс депарафинизации, характерных «пику» n-алканов на термограммах не было, что свидетельствует об отсутствии фазы выпадения n-алканов из-за их низкой концентрации в топливе.

С целью расчёта массовой доли n-алканов, выделившихся из дизельного топлива в температурной области начала фазового перехода, по экспериментальным термограммам ДСК была проинтегрирована область, ограниченная экспериментальной линией удельного теплового потока и виртуальной линией, соединившей температуры начала и завершения предполагаемого процесса фазообразования n-алканов (рис. 7).

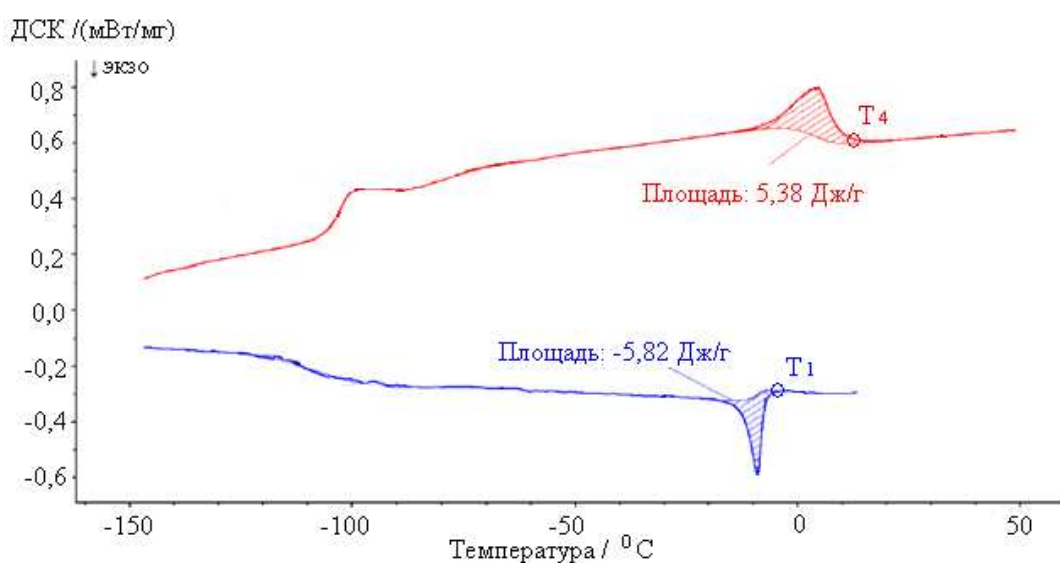


Рис.7. Расчет теплового эффекта фазообразования n-алканов в образце дизельного топлива 1

Как видно из данных интегрирования (см.рис.7) тепловой эффект образования твердых n-алканов составляет 5,8 Дж/г, а тепловой эффект плавления n-алканов – 5,4 Дж/г. Принимая энтальпию фазового перехода для n-алканов 190 Дж/г можно оценить количество n-алканов, выделившихся в самом начале процесса затвердевания топлива, примерно равным 2,95 масс.%. Это значение хорошо согласуется с данными авторов [5], изучавшими состав твердой фазы, появляющейся на старте процесса затвердевания дизельного топлива. В этой работе изучались дизельные топлива с температурой помутнения $4,3 \pm 0,2$ и $5,5 \pm 0,2$ °С и было доказано, что n-алканы являются наименее растворимыми углеводородами в составе дизельного топлива, а при охлаждении дизельного топлива на 9,1 °С ниже температуры помутнения из дизельного топлива в твердую фазу переходит 3,18 масс.% n-алканов.

Выводы

1. Показана возможность использования метода ДСК для определения температуры начала фазового перехода в дизельных топливах. Наиболее близкие к равновесным значениям величины температур начала фазовых переходов могут быть получены при аппроксимации температур начала фазового перехода к нулевой скорости нагрева или охлаждения.

2. Получены удельные энтальпии фазовых переходов для всех образцов дизельного топлива. На основании литературных данных по удельной энтальпии плавления n-алканов сделана попытка оценить массовую долю n-алканов, выделившихся из дизельного топлива в начале процесса затвердевания. Полученные значения хорошо согласуются с доступными литературными данными.

Список литературы

1. ГОСТ 22254-92. Топливо дизельное. Метод определения температуры фильтруемости на холодном фильтре. Введ. 1993-01-01. М.: Изд-во стандартов, 1992. 15 с.

2. ГОСТ 5066 – 91 (ИСО 3013-74). Топлива моторные. Методы определения температуры помутнения, начала кристаллизации и кристаллизации. Введ. 1993-01-01. М.: Изд-во стандартов, 1992. 13 с.

3. ASTM D 2500 - 11 (IP 219/82) Стандартный метод определения температуры помутнения нефтепродуктов и жидких топлив. Введ. 2011-06-01. Ежегодное издание стандартов ASTM, 2011. 5 с.

4. n-Alkane Binary Molecular Alloys/MondieigD., RajabaleeF., MetivaudV., OonkH. A. J., Cuevas-DiarteM. A.// Chem. Mater. 16. 2004. P. 786-798.

5. CoutinhoA.P., DauphinC., DaridonJ.L. Measurements and modelling of wax formation in diesel fuels // Fuel 79. 2000. P. 607–616.

Береснева Екатерина Викторовна, младший научный сотрудник, beresnevaev@mail.ru, Россия, Москва, ФАУ «25 Государственный научно-исследовательский институт химмотологии Министерства обороны Российской Федерации»,

Ощенко Анатолий Петрович, канд. хим. наук, старший научный сотрудник, oshenko@mail.ru, Россия, Москва, ФАУ «25 Государственный научно-исследовательский институт химмотологии Министерства обороны Российской Федерации»,

Шарин Евгений Алексеевич, канд. техн. наук, доц., начальник отдела топлив, Shea06@yandex.ru, Россия, Москва, ФАУ «25 Государственный научно-исследовательский институт химмотологии Министерства обороны Российской Федерации»

THE USE OF DIFFERENTIAL SCANNING CALORIMETRY TO STUDY THE LOW TEMPERATURE PROPERTIES OF DIESEL FUELS

E.V. Beresneva, A.P. Oshchenko, E.A. Sharin

The possibility of using differential scanning calorimetry (DSC) for studying low-temperature properties of diesel fuels used for military and special equipment is demonstrated. Experimental data were obtained, which made it possible to determine the temperatures of the phase transitions upon cooling and heating of the samples. Heat of phase transitions and mass fractions of n-alkanes in diesel fuel samples were calculated. The amount of temperature of the beginning of the phase transition in diesel fuel is affected by the mass fraction of n-alkanes and DSC allowing to determine the amount of n-alkanes released from liquid fuel upon its cooling. It opens prospects in laboratory conditions to determine the minimum operating temperature of the fuel system with the diesel fuel under study.

Key words: differential scanning calorimetry, low-temperature properties, diesel fuel, lowest filtering temperature.

Beresneva Ekaterina Viktorovna, junior researcher, beresnevaev@mail.ru, Russia, Moscow, FAE «The 25th State Research Institute of Himmotology of Ministry of Defence of the Russian Federation»,

Oshchenko Anatoly Petrovich, Science Degree in Chemistry, senior researcher, oshenko@mail.ru, Russia, Moscow, FAE «The 25th State Research Institute of Himmotology of Ministry of Defence of the Russian Federation»,

Sharin Yevgeny Alekseyevich, Science Degree in Engineering, docent, head of fuels department, Shea06@yandex.ru, Russia, Moscow, FAE «The 25th State Research Institute of Himmotology of Ministry of Defence of the Russian Federation»

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЛИКА РЕКОНФИГУРИРУЕМЫХ МОБИЛЬНЫХ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

А.В. Малахов, Я.Н. Гусеница, А.А. Куприянов

Представлена вербальная и формализованная постановка задачи формирования технического облика мобильных метрологических комплексов в условиях сокращения временных параметров на проведение метрологического обслуживания средств измерений. Данный подход, в отличие от имеющихся, учитывает возможность реконфигурации, вероятность обслуживания и вероятность безотказной работы рабочих мест по проведению метрологического обслуживания, а также затраты на эксплуатацию. Применение результатов представленных в данной статье, позволит проводить военно-научное и технико-экономическое обоснование создания перспективных систем метрологического обеспечения вооружения и военной техники на новом качественном уровне.

Ключевые слова: мобильные метрологические комплексы, технический облик, производительность, принципы построения рабочих мест, неопределенность, реконфигурация.

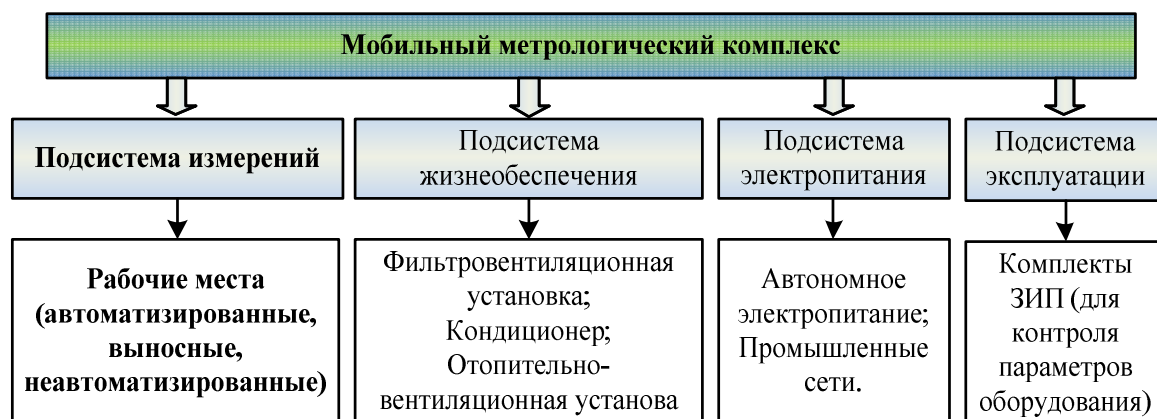
В последние годы военно-техническая политика ведущих зарубежных стран отличается высокой динамичностью, активностью, гибкостью, сконцентрированностью на приоритетных направлениях военно-технического строительства. Основной ее задачей является создание систем вооружений, способных за счет качественного превосходства обеспечить успешное решение национальными вооруженными силами боевых задач в любых условиях обстановки. Существенное нарастание оперативных и боевых возможностей вооруженных сил ведущих зарубежных государств обуславливают вероятность активизации текущих и возникновения новых военных конфликтов, в которые может быть втянута Россия.

Важное место в техническом оснащении отводится метрологическому обеспечению Вооруженных Сил Российской Федерации, под которым понимается комплекс мероприятий по установлению и применению научных и организационных основ, технических средств, правил и норм, необходимых для достижения единства и требуемой точности, полноты, своевременности и экономичности измерений в войсках.

Одним из приоритетных направлений развития метрологического обеспечения Вооруженных Сил Российской Федерации является широкое применение мобильных метрологических комплексов (ММК) военного назначения (ВН) для метрологического обслуживания вооружения, военной и специальной, а также средств измерений (СИ) ВН непосредственно в местах их эксплуатации. При обосновании необходимости разработки перспективных и повышения эффективности функционирования существую-

щих ММК ВН, а также разработке методов оценивания тактико-технических характеристик ММК ВН при их контроле и испытаниях применяется большая номенклатура показателей.

Мобильный метрологический комплекс как сложная военнотехническая система состоит из следующих подсистем, представленных на рисунке, наиболее важной из которых является подсистема измерений [2]. Данная подсистема предназначена для выполнения основных задач, возложенных на ММК ВН.



Основные подсистемы метрологического комплекса

Под техническим обликом ММК ВН, в данной работе, понимается совокупность структурных и параметрических данных, отражающих наиболее существенные технические решения и особенности комплекса, состав конфигураций и способы объединения его функционально связанных элементов между собой при условии полной реализации заданных функций [6]. Конфигурация представляет собой функционально связанные рабочие места оснащенные рабочими эталонами, рабочими средствами измерений, средствами вычислительной техники, вспомогательными устройствами и оборудованием и предназначенные для метрологического обслуживания средств измерений определенной номенклатуры.

Представленная в работе [6] математическая постановка задачи носит достаточно общий характер и не отражает возможность реконфигурации ММК ВН.

Целью данной статьи является постановка задачи формирования технического облика реконфигурируемых ММК ВН.

Вербальное описание общей задачи формирования технического облика реконфигурируемых ММК ВН: при известных исходных данных о входном потоке СИ ВН поступающих на метрологическое обслуживание, векторах параметров РМ, затратах на эксплуатацию ММК ВН, количестве РМ требуется найти такой технический облик ММК ВН, который обеспечит максимальную вероятность метрологического обслуживания

СИ ВН при ограничениях на время проведения метрологического обслуживания, значение коэффициента простоя, допустимые затраты на эксплуатацию ММК ВН, допустимые значения вероятности безотказной работы ММК ВН.

В формализованном виде данная задача выглядит следующим образом. Считаются известными следующие переменные:

F – входной поток СИ ВН на метрологическое обслуживание;

$\mathbf{r} = \{r_z\}, r_z = \langle S_z, \Gamma_z, U_z, B_z, C_{эксн_z}, m_z \rangle, z = \overline{1, Z}$ – вектор параметров РМ;

S – принципы построения РМ, входящих в состав ММК ВН (модульный, приборно-модульный, приборный);

Γ – возможность подключения эталонов, а также поверяемых СИ ВН к ЭВМ (КОП, USB, VXI, LXI);

U – наличие программного обеспечения, которое подразумевает возможность управления СИ ВН, управления эталонами, а также управление системой обработки и представления информации;

B – массогабаритные характеристики РМ;

M – количество видов измерений (по виду измеряемой величины);

Z – количество РМ;

$C_{эксн}$ – затраты на эксплуатацию ММК ВН, определяемые на основе методов, которые представлены в [3, 4].

Требуется найти

$$\mathbf{x}^* = \operatorname{argmax}_{\mathbf{x} \in \Delta_\beta} P_{обс}(\mathbf{x}, F)$$

$$\Delta_\beta = \left\{ \Delta \mid K_{\Pi}(\mathbf{x}, F) \leq K_{\Pi}^{\Delta}, C_{эксн}(\mathbf{x}) \leq C_{эксн}^{\Delta}, \Pi(\mathbf{x}, \tau_m) \geq 1/T^{\Delta}, P_{бр}(\mathbf{x}) \geq P_{бр}^{don}; \right.$$

$$\left. x = \{L_k\}, k = \overline{1, K}; L_k = \{l_j\}, l_j \in \mathbf{r}, j = \overline{1, J}; m = \overline{1, M}; F = \{f(t)\}_{mk} \right\}$$

где \mathbf{x} – технический облик ММК ВН; $P_{обс}$ – вероятность метрологического обслуживания входного потока СИ ВН; Δ – множество вариантов технического облика ММК ВН; Δ_β – множество вариантов технического облика ММК ВН с учетом введенных ограничений; $K_{\Pi}(\mathbf{x}, F)$ – коэффициент простоя ММК ВН; $\Pi(\mathbf{x}, \tau_m)$ – производительность ММК ВН; L_k – множество конфигурации ММК ВН; $P_{бр}(\mathbf{x})$ – вероятность безотказной работы ММК ВН; J – количество рабочих мест в конфигурации L_k ; K – количество конфигураций ММК ВН в техническом облике; $f(t)$ – плотность распределения времени поступления СИ ВН на метрологическое обслуживание,

при следующих ограничениях:

T^{Δ} – допустимое время проведения метрологического обслуживания (директивно заданное время);

K_{Π}^{Δ} – допустимое значение коэффициента простоя (указывается в технической документации);

τ_m – время проведения метрологического обслуживания СИ ВН вида измерений (устанавливается нормативно-технической документацией на каждый образец);

$C_{\text{эксн}}^D$ – допустимые затраты на эксплуатацию ММК ВН;

$P_{\text{ор}}^{\text{доп}}$ – допустимое значение вероятности безотказной работы ММК ВН (указывается в технической документации).

Необходимым условием решения сформулированной задачи является:

1. Разработка комплексной модели функционирования реконфигурируемых ММК ВН в условиях неопределенности информации о моментах поступления СИ на метрологическое обслуживание.

2. Разработка методики расчета производительности реконфигурируемых ММК ВН с учетом неопределенности степени автоматизации РМ по метрологическому обслуживанию СИ ВН.

3. Разработка методики выбора рационального варианта технического облика реконфигурируемых ММК ВН в условиях временных ограничений.

Разработка комплексной модели функционирования реконфигурируемых ММК ВН необходима для вычисления значений вероятности метрологического обслуживания СИ и коэффициента простоя для каждого варианта технического облика

Важнейшей компонентой комплексной модели является имитационная модель функционирования реконфигурируемых ММК ВН в условиях неопределенности информации о моментах поступления СИ на метрологическое обслуживание. Данная модель реализует имитирующий алгоритм для каждой конфигурации каждого варианта технического облика ММК ВН, который воспроизводит процесс функционирования во времени и пространстве. При этом имитируются следующие составляющие процесса функционирования: поступление очередного СИ ВН определенного вида измерений на метрологическое обслуживание; проверка наличия РМ, не занятых метрологическим обслуживанием; непосредственно метрологическое обслуживание СИ ВН. Имитационная модель подробно описана в работах [1, 5].

Вместе с тем, необходимым условием использования имитационной модели является создание базы данных для хранения исходных данных, промежуточных и конечных результатов [8], а также компьютерная реализация имитационной модели [9].

Разработка методики расчета производительности реконфигурируемых ММК ВН с учетом неопределенности степени автоматизации РМ по метрологическому обслуживанию СИ ВН необходимо для вычисления показателя производительности. Данный показатель представляет собой вектор, параметрами которого являются показатели производительности

входящих в него РМ по метрологическому обслуживанию СИ. В роли показателя производительности РМ выступает среднее количество СИ конкретного вида, которые могут быть обслужены. Методика расчета производительности МК ВН на основе теории нечетких множеств представлена в работах [2, 7].

Наконец, разработка методики выбора рационального варианта технического облика реконфигурируемых ММК ВН в условиях временных ограничений необходима для решения оптимизационной задачи с учетом ограничений. Эта методика описана в работе [6].

Таким образом, в работе представлена вербальная и математическая постановка задачи формирования технического облика мобильных метрологических комплексов военного назначения с учетом возможности реконфигурации, позволяющая проводить военно-научное и технико-экономическое обоснование процессов создания перспективных систем, испытаний и метрологического обеспечения вооружения, военной и специальной техники.

Список литературы

1. Гусеница Я.Н., Малахов А.В. Имитационная модель функционирования реконфигурируемых метрологических комплексов в условиях неопределенности информации о моментах поступления средств измерений на метрологическое обслуживание // Ученые зап. Комсомольского-на-Амуре гос.техн. ун-та. 2016. Т. 1. № 3 (27). С. 32 – 46.
2. Информационные технологии в области метрологического обеспечения вооружения и военной техники: учеб.пособие / Я.Н. Гусеница, А.Н. Новиков, С.А. Шерстобитов, А.В. Малахов. СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2017. 171 с.
3. Метод функционально-стоимостного анализа эксплуатации средств измерений, испытания и контроля / Я.Н. Гусеница, С.А. Шерстобитов, О.А. Ширямов, А.В. Малахов // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2017. № 1 (96). С. 67 – 72.
4. Гусеница Я.Н., Шерстобитов С.А., Малахов А.В. Научно-методический аппарат обоснования межповерочных интервалов средств измерений // Вестник СибГУТИ. 2017. №1(37). С. 40 – 46.
5. Малахов А.В., Гусеница Я.Н. Имитационное моделирование реконфигурируемых метрологических комплексов // Сборник научно-методических трудов I Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные вопросы развития вооружения, военной и специальной техники противовоздушной и противоракетной обороны, Космических войск Воздушно-космических сил». 2016. С. 102 – 116.
6. Малахов А.В. Методика обоснования рационального технического облика мобильных метрологических комплексов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2016. Вып. 4. С. 225 – 233.

7. Малахов А.В., Епишин К.В. Методика расчета производительности мобильных метрологических комплексов // Сборник научно-методических трудов I Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные вопросы развития вооружения, военной и специальной техники противовоздушной и противоракетной обороны, Космических войск Воздушно-космических сил». 2016. С. 117 – 125.

8. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 201620310. База данных для моделирования процесса функционирования реконфигурируемых метрологических комплексов в условиях неопределенности информации о моментах поступления средств измерений на метрологическое обслуживание / Я.Н. Гусеница, А.В. Малахов, С.А. Шерстобитов; дата поступления 24.03.2016 г., дата регистрации в Реестре баз данных 13.05.2016 г.

9. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 016615111. Компьютерная модель функционирования реконфигурируемых метрологических комплексов в условиях неопределенности информации о моментах поступления средств измерений на метрологическое обслуживание / Я.Н. Гусеница, А.В. Малахов, С.А. Шерстобитов; дата поступления 24.03.2016 г., дата регистрации в Реестре программ для ЭВМ 16.05.2016 г.

Малахов Александр Владимирович, адъюнкт, sanya-mal1@yandex.ru, Россия, Санкт-Петербург, Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского,

Гусеница Ярослав Николаевич, канд. техн. наук, преподаватель, yaromir226@mail.ru, Россия, Санкт-Петербург, Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского,

Куприянов Андрей Александрович, начальник отделения отдела аккредитации, akup17@mail.ru, Россия, Мытищи, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Главный научный метрологический центр» Министерства обороны Российской Федерации

**STATEMENT OF THE PROBLEM OF FORMATION OF TECHNICAL SHAPE
RECONFIGURABLE MOBILE METROLOGICAL COMPLEXES**

A.V. Malakhov, Y.N. Gusenitsa, A.A. Kupriyanov

The paper presents a mathematical and formalized statement of the problem of formation of technical shape of mobile metrological complexes in terms of reducing time parameters on metrological service of measuring instruments. This approach, unlike existing allows for the possibility of reconfiguration, the probability of service and the probability of failure of workplaces in carrying out of metrological maintenance, and also takes into account the cost of operation. Application of the results presented in this article will allow military research and feasibility study processes of creation of perspective system of metrological assurance of armaments and military equipment at a new qualitative level.

Keywords: mobile metrological complexes, technical configuration, performance, principles of construction jobs, uncertainty, reconfiguration.

Malakhov Aleksandr Vladimirovich, postgraduated, sanya-mall@yandex.ru, Russia, St. Petersburg, Military and Special Equipment, Military Space Academy named after A.F. Mozhaisky,

Gusenitsa Yaroslav Nikolaevich. candidat of technical sciences, teacher, yaro-mir226@mail.ru, Russia, St. Petersburg, Military and Special Equipment, Military Space Academy named after A.F. Mozhaisky,

Kupriyanov Andrey Alexandrovich, Head of the Department of Accreditation, akup17@mail.ru, Russia, Mytishi, Federal State Budgetary Institution "Metrology Scientific Head Center Russian Federation Ministry of Defense

УДК 519.876.5

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ИЗМЕНЕНИЯ ФРАКТАЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ХАОТИЧЕСКИХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

А.И. Загайнов, С.В. Войцеховский, А.И. Захаров

Ведется поиск индикаторов связей состояния систем, порождающих (много) компонентные временные ряды. В качестве примера обработки временных рядов приведено исследование экономических показателей. Однако алгоритмы, предложенные в публикации, могут быть использованы при численном анализе произвольной системы, порождающей временной ряд (например, медико-биологической, метеорологической, экономической, военный и пр.).

Ключевые слова: временной ряд, детерминированный хаос, фрактальные размерности, аппроксимированная энтропия.

Почти в каждой области научных исследований встречаются явления, которые интересно и важно изучать в их развитии и изменении во времени. В повседневной жизни могут представлять интерес, например, метеорологические условия, вариабельность сердечного ритма, линейная скорость мозгового кровотока и т.д. Все они изменяются во времени.

Совокупность изменений какой-либо одной характеристики подобного рода в течение некоторого периода времени представляет собой временной ряд. Совокупность существующих методов анализа таких рядов наблюдений называется анализом временных рядов.

Основной чертой, выделяющей анализ временных рядов среди других видов статистического анализа, является существенность порядка, в котором производятся наблюдения. Если во многих задачах наблюдения статистически независимы, то во временных рядах они, как правило, зависимы, и характер этой зависимости может определяться положением наблюдений в последовательности.

Современный этап социально-экономического развития страны выдвигает на первый план задачу оценки состояния и перспектив с целью выбора оптимальных управленческих, организационно-правовых и производственно-хозяйственных решений, направленных на повышение эффективности и деловой активности их функционирования и взаимодействия как в границах внутренней, так и внешней среды. В этой связи возрастает роль методологии статистического оценивания состояния, основных тенденций развития субъектов, а также анализа числовой информации, представленной в формах статистической, бухгалтерской и других видах отчетности с целью определения перспектив их развития и путей принятия наиболее эффективных решений и направлений дальнейшей деятельности.

Применение методологии анализа и прогнозирования на основе временных рядов имеет достаточно широкое прикладное значение и может использоваться при решении различных задач исследования реальных социально-экономических явлений и процессов. Так, например, применение математического аппарата временных рядов двойного назначения можно использовать в военном деле при разработке и совершенствовании математического, программного и информационного обеспечения автоматизированных систем военного назначения.

Фрактальные размерности и аппроксимированная энтропия

Построение фрактала из исходного одномерного конечного сигнала связано с восстановлением его аттрактора. Это положение происходит из теории динамических систем, с которым на начальном этапе своего развития была неразрывно связана теория детерминированного хаоса. Данный факт отчетливо прослеживается в известной теореме Такенса [2-4], в которой предложен способ построения восстановленного аттрактора, принадлежащего гладкому многообразию, положив в качестве координат вектора состояния тот же самый ряд, смещенный относительно себя на некоторое постоянное значение:

$$\vec{x}(i) = (x(i), x(i + \tau), \dots, x(i + \tau(n - 1))) = (x_1, x_2, \dots, x_n),$$

где $x(i)$ – исходный временной ряд; n – размерность пространства вложения; τ – временная задержка, а полученный вектор – координата одной точки на восстановленном аттракторе. При этом n удовлетворяет условиям теоремы Такенса:

$$n \geq 2[d_A] + 1,$$

где d_A – размерность восстановленного аттрактора.

Теорема Такенса утверждает, что при числе отсчетов (длине временного ряда) $N \rightarrow \infty$ построенное методом задержки отображение является гладким и обратимым почти при любой конечной задержке τ . Свойства построенного таким образом аттрактора метрически (и вероятностно) эквиваленты исходному аттрактору динамической системы.

Наиболее известными характеристиками аттрактора динамической системы являются вероятностные (фрактальные) размерности. Под вероятностью здесь понимается вероятность нахождения точки в определенной области самого аттрактора в фазовом пространстве. Их общим выражением является так называемая размерность Реньи [1]:

$$D_q = \frac{1}{1-q} \lim_{t \rightarrow 0} \frac{\ln(\sum_{i=1}^{M(t)} p_i^q)}{\ln(1/t)}, \quad (1)$$

где $M(t)$ – минимальное количество кубиков со стороной t , полностью покрывающие аттрактор; p_i – вероятность посещения i -го кубика фазовой траекторией динамической системы.

Частными случаями размерности Реньи являются размерность Колмогорова, информационная размерность и корреляционная размерность, получаемые при параметрах $q=0,1,2$ соответственно. Для пространственно однородных аттракторов все эти размерности одинаковы. В общем случае, исходя из определения, размерность Реньи является монотонно убывающей функцией q :

$$q_1 < q_2 \Rightarrow D_{q_1} \geq D_{q_2}.$$

Следовательно, для рассматриваемых объектов параметр q должен быть положительным. В настоящее время этот параметр принят равным двум (корреляционная размерность является оценкой информационной размерности, для ее вычисления разработан универсальный численный алгоритм, из полученного алгоритма автоматическая следует оценка соответствующей аппроксимированной энтропии). Из (1) следует, что корреляционная размерность есть

$$D_c = \frac{1}{1-2} \lim_{t \rightarrow 0} \frac{\ln(\sum_{i=1}^{M(t)} p_i^2)}{\ln(1/t)} = \lim_{t \rightarrow 0} \frac{\ln(\sum_{i=1}^{M(t)} p_i^2)}{\ln(t)}.$$

Последнюю удобно представить в следующей форме:

$$D_c = \lim_{t \rightarrow 0} \frac{\ln(C(t))}{\ln(t)},$$

где $C(r) = \lim_{m \rightarrow \infty} \frac{1}{m^2} \sum_{i,j=1}^m \theta(r - \rho(x_i, x_j))$ – корреляционный интеграл;

$\theta(s) = \begin{cases} 1, & s \geq 0 \\ 0, & s < 0 \end{cases}$ – функция Хевисайда, $\rho(x_i, x_j)$ – функция расстояния в n -мерном пространстве.

Для аттракторов, состоящих из конечного числа точек, корреляционный интеграл заменяется соответствующей оценкой:

$$C(r) = \sum_{i=1}^M \sum_{j=i+1}^M \frac{\theta(r - \rho(x_i, x_j))}{M(M-1)/2},$$

где M – количество точек на восстановленном аттракторе.

Фрактальность исследуемого объекта предполагает, что

$$C(r) \sim r^{D_C},$$

откуда

$$\ln(C(r)) \sim D_C \ln r,$$

и корреляционную размерность можно оценить, получив наклон прямой логарифма корреляционного интеграла. Самым простым способом получения линейной зависимости по последовательности экспериментальных данных, как известно, является метод наименьших квадратов:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^T \ln C(r_i) \ln r_i = D_C \sum_{i=1}^T \ln^2 r_i + b \sum_{i=1}^T \ln r_i \\ \sum_{i=1}^T \ln C(r_i) = D_C \sum_{i=1}^T \ln r_i + bT \end{cases}$$

где T – количество измерений корреляционного интеграла для различных расстояний r_i (вычисленных на равномерной сетке).

Справедливость приведенного закона ограничена значениями r_i , достаточно малыми по сравнению с размером аттрактора. Очевидно, при увеличении r до размеров аттрактора $C(r) \rightarrow 1$, а при уменьшении из-за конечности точек на аттракторе $C(r) \rightarrow 0$, и указанный степенной закон справедлив только в ограниченном диапазоне r , (так называемом скейлинговом диапазоне), который может быть использован для определения размерности аттрактора. Этот диапазон необходимо либо принять постоянным, либо установить на практике для рассматриваемых нами временных рядов и менять в зависимости от типа сигнала, то есть типа соответствующего аттрактора сигнала.

Аппроксимированная энтропия отражает вероятность возникновения новых режимов при возрастании размерности пространства вложения. Чем она больше, тем больше неопределенностей в исходном сигнале. Для ее вычисления генерируется два аттрактора в последовательных пространствах вложения. Обычно $(n+1)$ -мерное пространство является следующим по отношению к условиям теоремы Такенса. Для оценки их схожести вычисляют корреляционный интеграл в каждом пространстве. При этом аппроксимированная энтропия находится из условия

$$ApEn(n, r) = -\ln\left(\frac{C^{n+1}(r)}{C^n(r)}\right).$$

Разработанная методика исследований

Реализация аттрактора и вычисление его корреляционной размерности и аппроксимированной энтропии происходит по следующему алгоритму:

1. Оценка размерности пространства вложения.
2. Оценка параметра задержки.
3. Нормирование расстояний между точками на аттракторе.
4. Восстановление аттрактора и его возможная визуализация, вычисление корреляционного интеграла.
5. Определение скейлингового диапазона.
6. Оценка корреляционной размерности в скейлинговом диапазоне (в двойном логарифмическом масштабе).
7. Нахождение конкретного расстояния r при вычислении аппроксимированной энтропии и ее определение для этого r .

При модификации рассматриваемых методов для учета их изменения в режиме реального времени (или изменения в режиме “скользящего окна”), схематично изображенных на рис. 1, необходимо произвести перерасчет всех указанных параметров. Решение такой задачи даже на современных средствах вычислительной техники невозможно. При этом существует уже показанный ряд упрощений, связанный с видом предварительно рассчитанных значений корреляционной размерности и их аппроксимации в режиме “скользящего окна”.

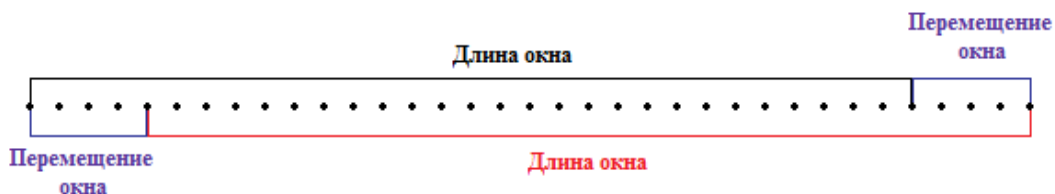


Рис. 1. Способ перемещения “скользящего окна” с шириной 31 (длина окна) на 4 отсчета (перемещение окна)

Сказанное позволяет сформулировать алгоритм вычисления фрактальных показателей, основные этапы которого заключаются в следующем:

1. Задать постоянную размерность пространства вложения (на начальном этапе равную 3 и 4).
2. Предварительно оценить параметр задержки с помощью предыдущего алгоритма. Запомнить полученный результат, а также вид построенных функций (автокорреляционной и функции средней взаимной информации).
3. Выполнить нормирование расстояний между точками на аттракторе.
4. Восстановить аттрактор и визуализировать его (в пространстве размерности 3), вычислить корреляционный интеграл.

5. Определить скейлинговый диапазон.
6. Предварительно оценить корреляционную размерность в скейлинговом диапазоне (в двойном логарифмическом масштабе).
7. Определить конкретное расстояние r при вычислении аппроксимированной энтропии и вычислить ее для этого r .
8. Проверить найденные значения (в пространствах вложения размерности 3 и 4). При необходимости увеличить размерность пространства вложения и повторить пункты 2-7.
9. Сдвинуть временной ряд (перемещение окна выбирается апостериорно).
10. Оценить параметр п.2, изменив лишь значения отсчетов, относительно которых произошло перемещение скользящего окна.
11. Изменить аттрактор и корреляционный интеграл относительно отсчетов сместившегося окна.
12. Найти оценку скейлингового диапазона относительно переместившегося окна.
13. Дать оценку корреляционной размерности относительно нового местонахождения “скользящего окна”.
14. Уточнить расстояние r и дать оценку аппроксимированной энтропии относительно нового местонахождения “скользящего окна”.
15. Аппроксимировать полученные результаты трендами.

Реализованный программный комплекс

Реализация корреляционной размерности в режиме реального времени осложняется, прежде всего, возможностями автоматизированного вычисления необходимых параметров (размерность пространства вложения, параметр задержки, скейлинговый диапазон и пр.). Поэтому в созданном комплексе предусмотрена возможность их изменения и автоматизированного вычисления с помощью оригинальных алгоритмов, использующих функции вероятности нахождения точек на аттракторе. Скользящее окно (то есть текущий рассматриваемый массив) перемещается по временному ряду (сигналу), тем самым изменяя вычисляемую характеристику во времени. При этом изменяется аттрактор системы, его размерность и параметры. Здесь необходимо подчеркнуть, что рассмотренные параметры могут меняться уже при незначительном перемещении скользящего окна, что при большом количестве значений временного ряда представляет значительную трудность, так как на каждом шаге нам необходимо выполнять пересчет всех точек аттрактора.

Программный комплекс был реализован в среде программирования QtCreator. Его основные возможности:

- 1) представление исходных временных рядов;
- 2) автоматическое изменение аттрактора сигнала в режиме реального времени и его перестроение при изменении параметра задержки. Также реализовано автоматизированное изменение размерности пространства вложения;

- 3) визуализация соответствующего двумерного аттрактора системы;
- 4) автоматический расчет параметров (левого и правого) скейлингового диапазона;
- 5) вычисление корреляционной размерности при перемещении скользящего окна;
- 6) аппроксимация изменения корреляционной размерности, которая делается из-за сильных флуктуаций построенного результата;
- 7) вычисление и визуализация специальных параметров, служащих для характеристики деятельности специализированных систем (спектральная плотность, фазовый сдвиг, кросс-амплитуда и др.).

В комплексе предусмотрена возможность изменения длины скользящего окна, перемещения окна, скорости проигрывания (при считывании из файла), принудительном изменении указанных параметров аттрактора.

На рис. 2 представлены описанные графические возможности программного комплекса. При сравнении исходных временных рядов и реализованных спектральных и фрактальных показателей для их количественной характеристики на общем графике возможно представление нескольких шкал. Для аттракторов (рис. 3) соответствующие окна переносят в различные части экрана. В меню «Parameters» возможно принудительно изменить параметры вычислений (в том числе параметры аттрактора) (рис. 4).

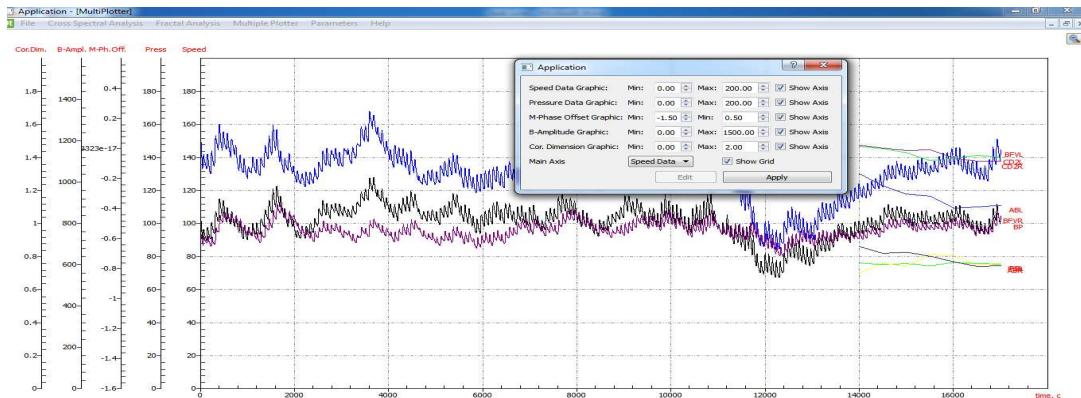


Рис. 2. Возможности построенного программного комплекса

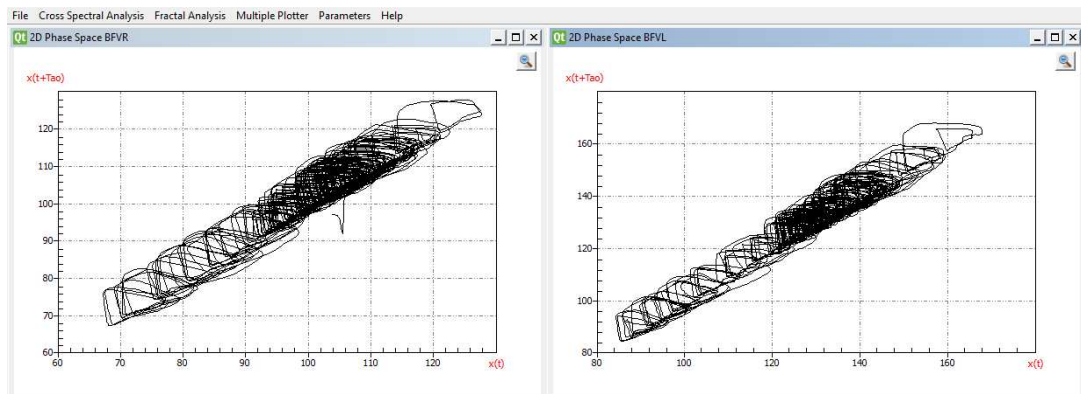


Рис. 3. Аттракторы рассматриваемых временных рядов

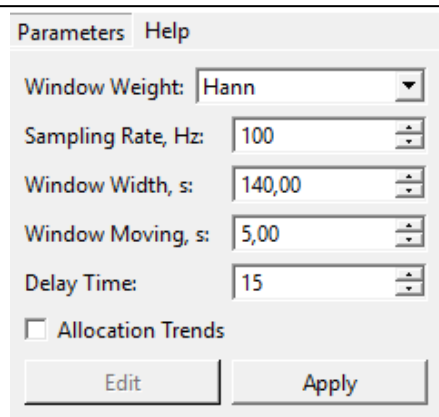


Рис. 4. Меню «Parameters», необходимое для изменения параметров вычислений

Результаты исследований

В исследовании были обработаны 16 временных рядов отношения различных котировок валют с количеством игры на бирже 10 дней (14400 отсчетов). Для каждого временного ряда реконструированы аттракторы, произведена их визуализация для двух- и трехмерного случая (напр. рис. 5, б), найдены необходимые параметры для вычислений. В работе построены тренды корреляционной размерности и аппроксимированной энтропии для всего времени исследования временного ряда, для удобного наблюдения и сравнения которых включена возможность отслеживания их изменений на совместном графике.

На рис. 7 приведен график временного ряда отношения котировок USD/CHF. Разработанная методика, к сожалению, не всегда обладает прогностическими способностями. Рассмотренный пример наглядно демонстрирует, что отсутствует явная видимая корреляция между рассмотренным типом фрактальной размерности и исходного временного ряда.

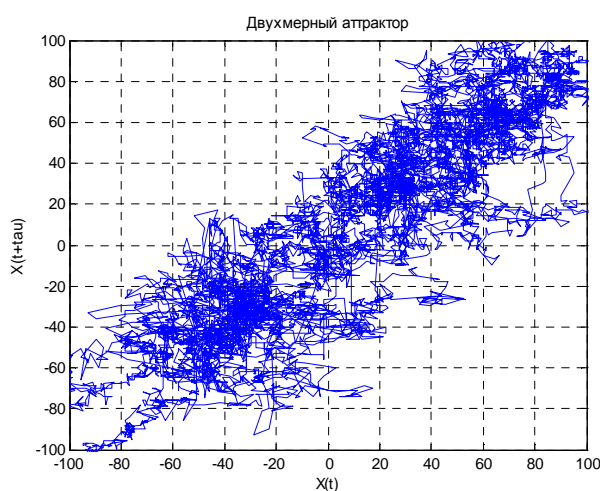


Рис. 5. Фрактал (двухмерный аттрактор) временного ряда отношения котировок валют с количеством игры на бирже 10 дней (14400 отсчетов)

Тот же результат нами был получен для аппроксимированной энтропии. Тем не менее, на рис. 8 рассмотрен график отношения других котировок (EUR/USD). В этом случае нами установлена постоянная корреляционная размерность (рис. 8, снизу) и нулевая аппроксимированная энтропия (рис. 9, снизу).

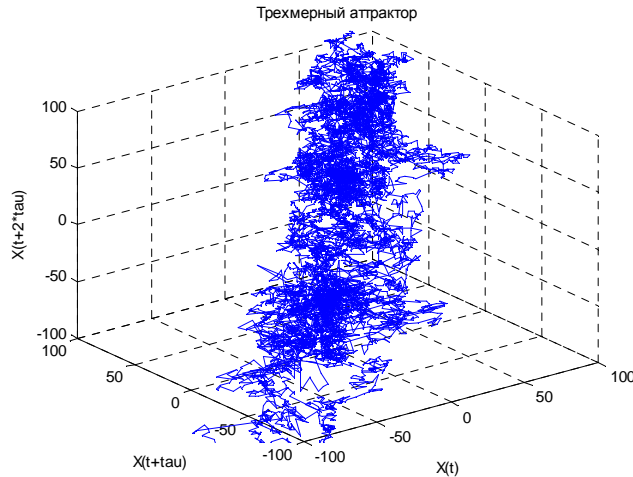


Рис. 6. Фрактал (трехмерный аттрактор) временного ряда отношения котировок валют с количеством игры на бирже 10 дней (14400 отсчетов)

Таким образом, мы можем заключить, что нами обнаружен случай детерминированного хаоса, который может быть восстановлен (хотя бы в теории) в виде динамической системы.

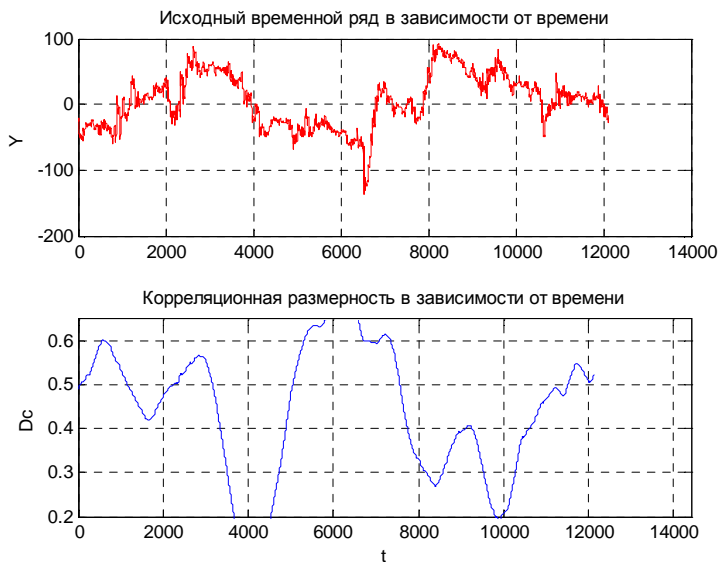


Рис. 7. Исходный временной ряд с количеством 10 дней обучения (14400 отсчетов) и корреляционная размерность в режиме «скользящего окна»

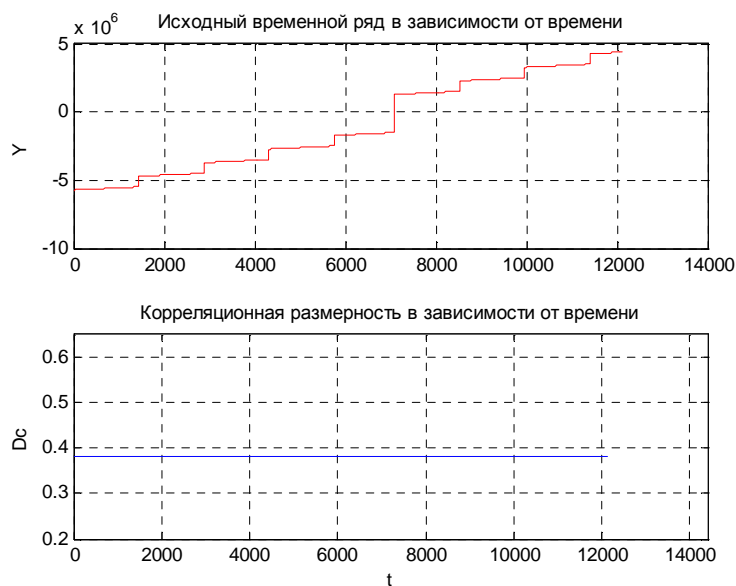


Рис. 8. Пример детерминированного временного ряда отношения биржевых индексов и соответствующая постоянная корреляционная размерность за все время наблюдения

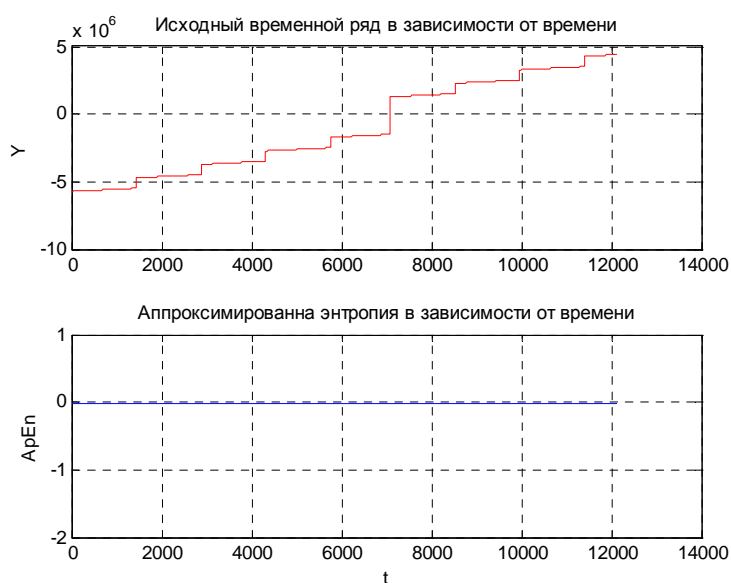


Рис. 9. Пример детерминированного временного ряда отношения биржевых индексов и соответствующая нулевая аппроксимированная энтропия за все время наблюдения

Последний результат является наиболее важным, поскольку показывает совершенство рассматриваемой методологии и указывает на индикаторы, способные разделять процессы на детерминированные и недетерминированные. Подобная классификация является новой мерой численного понятия случайности и будет предложена нами в дальнейшем.

Заключение

Итак, в настоящей статье разработана и предложена методика практического поиска индикаторов связей состояния систем, порождающих многокомпонентные временные ряды. Предлагается развитие указанной методологии на случай накопления и изменения аттрактора соответствующего некоторому экономическому временному ряду.

Следует отметить тот положительный факт, что в созданном программном комплексе предусмотрена возможность изменения таких основных параметров, как размерность пространства вложения, параметр задержки, скейлинговый диапазон, и их автоматизированного вычисления с помощью оригинальных алгоритмов, использующих функции вероятности нахождения точек на аттракторе.

Важно то, что текущий рассматриваемый массив (скользящее окно) перемещается по временному ряду (сигналу), тем самым изменяя вычисляемую характеристику во времени. При этом изменяется аттрактор системы, его размерность и параметры.

Программный комплекс реализован на языке C++ в среде программирования QtCreator и обладает большими вычислительными возможностями, в том числе возможностями изменения длины скользящего окна, перемещения окна, изменения скорости проигрывания (при считывании из файла), принудительного изменения указанных параметров аттрактора.

Методы исследования, предложенные в статье, универсальные – двойного назначения – и могут быть также использованы при численном анализе произвольной системы, порождающей временной ряд. Например, в процессе развития и совершенствования методов и алгоритмов исследования операций, теории эффективности, информатики, системного анализа, искусственного интеллекта, принятия решений применительно к военной области.

Программный комплекс разработан, опробован и пригоден для проведения исследований, развития и изменения экономических и других временных рядов методами фрактального анализа в режиме реального времени.

Список литературы

1. Перерва Л.М., Юдин В.В. Фрактальное моделирование: учеб.пособие / под общ. ред. В.Н. Гряника. Владивосток: Изд-во ВГУЭС, 2007. 186с.

2. Захаров А.И., Загайнов А.И. Реализация программного комплекса для вычисления фрактальных параметров сложных систем // Интеллектуальные технологии на транспорте. 2015. №2. С. 47-53.

3. Захаров А.И., Загайнов А.И. Мультифрактальное математическое моделирование процессов хаотического происхождения // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. 2015. №648. С. 19-27.

4. Takens F. Detecting strange attractors in turbulence, in dynamical systems and turbulence // Lecture Notes in Mathematics, edited by D. A. Rand and L. S. Young. Heidelberg, Springer-Verlag. 1981. P. 366-381.

5. Меклер А. А. Применение аппарата нелинейного анализа динамических систем для обработки сигналов ЭЭГ // Актуал. пробл. современ. математики: ученые зап. 2004. Т. 13(2). С. 112-140.

6. Tsonis A. Chaos: from Theory to Applications. New York: Plenum Press, 1992. 274 p.

Загайнов Артем Игоревич, старший преподаватель, zagainov239@gmail.com, Россия, Санкт-Петербург, Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского,

Войцеховский Станислав Витальевич, канд. техн. наук, нач. кафедры, vsv25@mail.ru, Россия, Санкт-Петербург, Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского,

Захаров Анатолий Иванович, канд. техн. наук, профессор, ana63916157@yandex.ru, Россия, Санкт-Петербург, Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского.

**AUTOMATED SOFTWARE COMPLEX OF THE METHODS OF INVESTIGATION
PROCESSES OF CHANGING THE FRACTAL INDICATORS CHAOTIC TIME SERIES**

S.V. Voytsekhovsky, A.I. Zagaynov, A.I. Zakharov

In this article, we search for indicators of the state-of-the-system relations that generate (many) component time series. As an example of processing time series, a study of economic indicators is given. However, the algorithms proposed in the publication can be used in a numerical analysis of an arbitrary system that generates a time series (for example, medical-biological, meteorological, economic, military, etc.).

Key words: time series, deterministic chaos, fractal dimensions, approximated entropy.

Zagaynov Artem Igorevich, senior teacher, zagainov239@gmail.com, Russia, St. Petersburg, Mozhaisky Military Space Academy,

Voytsekhovsky Stanislav Vitalyevich, candidate of technical sciences, chief of department, vsv25@mail.ru, Russia, St. Petersburg, Mozhaisky Military Space Academy,

Zakharov Anatoly Ivanovich, candidate of technical sciences, docent, ana63916157@yandex.ru, Russia, St. Petersburg, Mozhaisky Military Space Academy

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТАНКОВЫХ МОСТОУКЛАДЧИКОВ

Н.Н. Носков, А.М. Волков, В.К. Зыкова

Представлен вариант методики оценки эффективности применения танковых мостоукладчиков при подготовке и содержании участка пути выдвижения танкового батальона. Примененный вероятностный метод расчета позволяет повысить достоверность расчетов, а полученные результаты раскрывают направления путей дальнейшего совершенствования танковых мостоукладчиков.

Ключевые слова: оценка эффективности, танковый мостоукладчик, пропускная способность мостового перехода.

Оценку эффективности применения танковых мостоукладчиков необходимо проводить, как правило, на завершающем этапе обоснования и разработки данного типа средств инженерного вооружения. Целью оценки эффективности является окончательное определение целесообразности создания нового образца мостоукладчика, модернизации существующего или применения нового способа его применения при выполнении задачи.

Комплексы методик и методов оценки эффективности отдельных типов и видов средств инженерного вооружения в достаточном количестве изложены в [1, 2] и других источниках. Однако большая часть их имеет общий (универсальный) характер и не учитывает особенность каждой задачи инженерного обеспечения и применяемых при этом средств. Трудность оценки эффективности средств инженерного обеспечения заключается в создании моделей функционирования как боевых, так и обеспечивающих средств, определение между ними взаимной связи и обусловленности.

Эффективность применения танкового мостоукладчика должна рассматриваться с учетом результатов исследований оперативно-тактического и оперативно-стратегического обоснований создания мостоукладчиков, изложенных в [3]. Танковый мостоукладчик является средством инженерного вооружения, основное назначение которого - установка мостовых переходов в тактической зоне, на расстоянии не более 20 км от переднего края обороны противника, с целью пропуска через встречающиеся препятствия и преграды танкового батальона в наступлении.

В предлагаемой методике в качестве критерия эффективности оценки применения танковых мостоукладчиков был выбран коэффициент, показывающий соотношение темпа наступления танкового батальона при отсутствии преград (требуемого темпа наступления) к темпу наступления при наличии преград.

С целью снижения возможности допущения субъективных ошибок и учета в значительной степени факторов, в том числе случайного характе-

ра, были использованы вероятностные характеристики условий выполнения задачи.

Модель выполнения задачи включает в себя последовательное выполнение мостоукладчиками следующих действий:

- марш к преграде;
- установка моста на препятствии;
- пропуск танков по мосту;
- снятие моста;
- снова марш к очередной преграде и т.п. (до момента достижения танками заданного рубежа).

Количественное значение эффективности применения танковых мостоукладчиков необходимо представить в виде коэффициента эффективности W_{MTU} , отражающего математическое ожидание отношения темпа продвижения танкового батальона с преодолением преград к темпу его продвижения, в том случае, если бы преграды отсутствовали:

$$W_{MTU} = M \left[\frac{V_{mn}}{V_{mp}} \right], \quad (1)$$

где $M[V_{mn}]$ – математическое ожидание темпа продвижения танкового батальона с преодолением преград, км/ч; $M[V_{mp}]$ – математическое ожидание темпа продвижения танкового батальона (требуемого) при отсутствии преград, км/ч.

Выработка в ходе моделирования случайных величин X_i , характеризующих условия боевого применения и технические параметры мостоукладчиков, производится с помощью преобразующих функций, соответствующих задаваемым законам распределения этих величин:

$$X_i = \Psi_i(\eta y), \quad (2)$$

где (ηy) – случайные числа из равномерно распределенной базовой последовательности от нуля до единицы.

В ходе проведения расчетов целесообразно использовать генератор случайных чисел «СЛЧИСЛ», имеющийся, например, в программе MS Office EXCEL. Для проведения оценки эффективности с доверительной вероятностью не менее 0,95 требуется провести не менее 300 повторений каждого расчета. В предлагаемой методике расчета принимается ограничение, что ширина случайно встречающейся преграды не превышает длину пролетного строения мостоукладчика, иначе рубеж развертывания в батальонные колонны будет назначен в другом месте или преодоление такой преграды будет усилено другими средствами.

Основные исходные данные для расчетов эффективности и диапазон распределения их значений представлен в таблице.

Исходные данные для моделирования задачи преодоления узких преград колонной танкового батальона при движении

Исходные данные	Обозначение	Значение
Длина участка пути танкового батальона от исходного рубежа до рубежа развертывания в ротные колонны, км	L_{Π}	5...15
Количество преодолеваемых преград, требующих оборудования мостового перехода, шт.	$N_{пр}$	1...5
Скорость движения танкового мостоукладчика по грунтовой дороге, км/ч	$V_{МГУ}$	15...35
Количество переправляемых машин, ед.	N_M	31...42
Скорость движения танкового батальона по мостовому переходу, км/ч	$V_{ТБ}$	8...20
Время установки моста, ч	$T_{уст}$	0,03...0,08
Время снятия моста, ч	$T_{сн}$	0,08...0,25
Время, требуемое для устранения аварийных, нештатных ситуаций, задержек, неисправностей, схода с моста и т.п., ч	$T_{доп}$	0...0,25

При установке на пути движения танкового батальона мостовых переходов необходимо учитывать, что в понятие мостовой переход включается сам мост и участок пути на подходе к нему, поэтому длина мостового перехода включает сам мост длиной 20...25 м и участок подхода к нему 25...30 м. Длина колонны танкового батальона на участке мостового перехода будет снижаться, т.к. с понижением скорости уменьшится и дистанция между машинами. Суммарная длина всех мостовых переходов зависит от количества преград и длины колонны с динамическим габаритом машин, **соответствующим** скорости преодоления мостового перехода.

Динамический габарит вычисляется по следующей формуле:

$$d_{zm} = L_{МАШ} + 0,76V_{ТБ}; \quad (3)$$

где $V_{ТБ}$ – скорость движения колонны танков по мостовому переходу, км/ч; $L_{МАШ}$ – длина машины (для танка $L_{МАШ} = 9,5$ м).

Длина пропускаемой колонны танков (машин) одного подразделения вычисляется по формуле

$$L_{кол} = \frac{N_M d_{zm}}{1000}; \quad (4)$$

где $L_{кол}$ – длина колонны танкового батальона, км; N_M – количество танков (машин) в колонне, ед.; d_{zm} – динамический габарит танков (машин), идущих в колонне.

Время преодоления танковым батальоном всех мостовых переходов, установленных на участке пути вычисляется по формуле

$$T_{ТБ} = M \left[\frac{N_{np} (L_{кол} + S_{mn})}{V_{ТБ}} + T_{доп} \right]; \quad (5)$$

где N_{np} – количество преодолеваемых преград, требующих оборудования мостовых переходов, шт.; $L_{кол}$ – длина колонны танкового батальона, км; S_{mn} – длина участка мостового перехода ($S_{mn} = 50$ м), км; $V_{ТБ}$ – скорость движения танкового батальона по мостовому переходу ($V_{mn} = 8...20$ км/ч); $T_{доп}$ – суммарное дополнительное время, возникающее вследствие случайных неисправностей, выхода из строя, съездов с моста, необходимости обслуживания подъездов к мосту и т.п., ч.

Время преодоления танковым батальоном участков пути между преградами зависит от времени выполнения задачи танковым мостоукладчиком. В суммарное время выполнения задачи мостоукладчиком входит время, необходимое для снятия моста с предыдущей преграды, выдвижение к следующей преграде, установки моста на следующей преграде и т.д. до установленного рубежа. Скорость движения танкового мостоукладчика принимается согласно положениям, изложенным в [4] и приведенным в таблице исходных данных.

Время выполнения задачи танковым мостоукладчиком на участке пути вычисляется по формуле

$$T_{МТУ} = M \left[\frac{L_{П} - N_{np} (L_{кол} + S_{mn}) + L_{кол}}{V_{МТУ}} + N_{np} (T_{уст} + T_{сн}) \right]; \quad (6)$$

где $L_{П}$ – длина участка пути танкового батальона, км; N_{np} – количество преодолеваемых преград, требующих оборудования мостовых переходов, шт.; $L_{кол}$ – длина колонны танкового батальона при пропуске через мост, км; S_{mn} – длина участка мостового перехода ($S_{mn} = 50$ м), км; $V_{МТУ}$ – скорость движения танкового мостоукладчика ($V_{mn} = 15...35$ км/ч); $T_{уст}$ – время установки мостового перехода, ч; $T_{сн}$ – время снятия мостового перехода с препятствия, ч.

Скорость движения колонны по пути с мостовыми переходами определяется по формуле

$$V_{mn} = M \left[\frac{L_{П} + L_{кол}}{T_{МТУ} + T_{ТБ}} \right]; \quad (7)$$

где $L_{П}$ – длина участка пути танкового батальона, км; $L_{кол}$ – длина колонны танкового батальона, км; $T_{МТУ} + T_{ТБ}$ – суммарное время преодоления танковым батальоном участка пути с преградами, ч.

Скорость движения танкового батальона между преградами или при отсутствии преград, принимается согласно положениям, изложенным в [4] и приведенным в таблице исходных данных для танкового мостоукладчи-

ка, т.к. при возникающей потребности в установке мостового перехода, скорость движения танкового батальона зависит от маневренности мостоукладчика и времени установки моста на преграду.

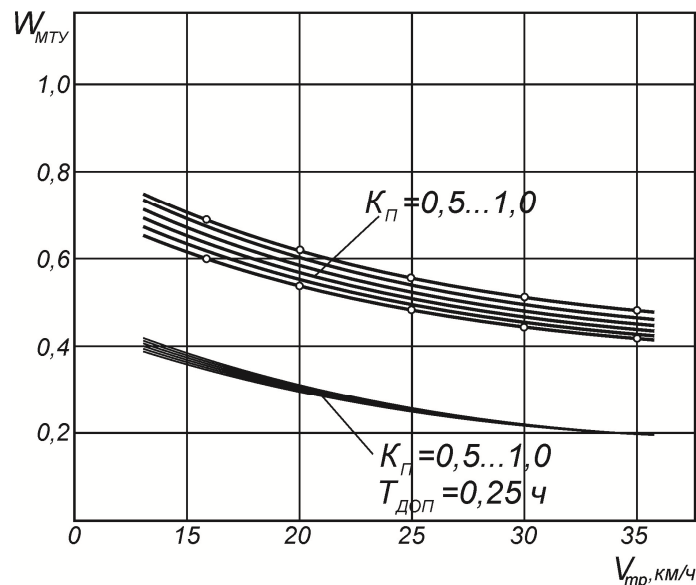
Для проведения сравнительного анализа в предлагаемой методике был введен понижающий коэффициент K_{Π} , который выражает отношение скорости движения танкового батальона по мостовому переходу к скорости движения по путям при отсутствии преград (значения величины коэффициента задавались в пределах 0,5...1,0):

$$K_{\Pi} = \frac{V_{ТБ}}{V_{МТУ}}. \quad (8)$$

По результатам проведенных расчетов были построены графики (рисунок), отражающие зависимость коэффициента эффективности применения мостоукладчиков от скорости движения танков по мостовому переходу (пропускной способности).

В расчете приняты средние значения исходных данных:

- протяженность участка пути $L_{\Pi} = 10$ км;
- количество мостовых переходов $N_{\text{пр}} = 3$ шт.;
- время установки мостового перехода $T_{\text{уст}} = 0,033$ ч;
- время снятия мостового перехода с препятствия $T_{\text{сн}} = 0,083$ ч.



Зависимость коэффициента эффективности применения танкового мостоукладчика от требуемого темпа продвижения танкового батальона

Из графика видно, что при увеличении скорости движения по мостовому переходу на 50% (K_{Π} повышается от 0,5 до 1,0), например, с 15 до 30 км/ч, эффективность применения мостоукладчиков возрастает лишь на 13%, при условии, что дополнительное время на нештатные ситуации равно нулю.

В случае возникновения аварийных и нештатных ситуаций и затрат дополнительного времени на каждый мостовой переход по 15 мин снижает эффективность применения танкового мостоукладчика более, чем на 50%.

Также необходимо отметить, что на эффективность применения мостоукладчика существенно влияют количество устанавливаемых мостовых переходов, каждый дополнительный мостовой переход, встречающийся на участке пути, снижает эффективность применения мостоукладчика на 12...20%.

Исходя из вышесказанного, повышение эффективности применения танковых мостоукладчиков путем технического развития должно быть направлено на повышение надежности при эксплуатации, увеличение времени наработки на отказ, минимизацию времени установки и снятия моста, повышение пропускной способности мостового перехода, обеспечение безопасного и безостановочного проезда техники по мосту объемом до 50 единиц.

Список литературы

1. Основы военно-экономических обоснований перспектив развития СИБ /А.М.Аверченко, В.Н.Федорин, Н.С.Воложинский, Н.Г.Дашков и др. Кн. 2. Способы расчетов эффективности. М.: 15 ЦНИИ МО РФ, 1999. 235 с.

2. Методическое пособие по сравнительной оценке качества военно-инженерной техники /В.Н.Федорин, К.Е.Кочетков, Н.Б.Ильченко, И.И.Журихин и др. М.: Изд-во МО, 1990. 90 с.

3. Волков А.М., Носков Н.Н. Требования к методике обоснования состава мостов инженерных войск на жестких опорах // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2017. Вып. 3.С. 243 – 249.

4. Поляков И.С., Рихель С.Г., Поляков И.В. Прогнозирование условий передвижения воинских формирований по местности: монография. М.: ВТУ при ФАСС РФ, 2012. 281 с.

Носков Николай Николаевич, канд. техн. наук, докторант, mntiz@yandex.ru, Россия, Москва, Военный институт (инженерных войск) Военного учебно-научного центра Сухопутных войск «Общевойсковая академия Вооруженных Сил Российской Федерации»,

Волков Андрей Михайлович, канд. воен. наук, доц., проф., andmih2012@yandex.ru, Россия, Тюмень, Тюменское высшее военно-инженерное командное училище имени маршала инженерных войск А.И. Прошлякова,

Зыкова Вера Константиновна, доц., zykova47@list.ru, Россия, Тюмень, Тюменское высшее военно-инженерное командное училище имени маршала инженерных войск А.И. Прошлякова

*OVERALL ASSESSMENT OF PERMEABILITY OF SAMPLES OF ARMAMENT
AND MILITARY EQUIPMENT WITH THE USE OF GENERALIZED INDICATORS*

N.N. Noskov, A.M. Volkov, V.K. Zykova

The article shows an embodiment of methodology for assessing the efficacy of tan postglacial launched bridges in the preparation and maintenance of the route section Extension tank-Vågå battalion. Using probabilistic calculation method allows to increase dos to-vernost calculations, and the results obtained reveal the directions of paths distance-ther improvement armored vehicle launched bridges.

Key words: performance evaluation, armored vehicle launched bridge, the capacity of the bridge.

Noskov Nikolay Nikolaevich, candidate of engineering, doctoral candidate, mntiz@yandex.ru, Russia, Moscow, Military Institute (engineering troops) Military training and research center of Ground forces «Combined arms Academy of the Armed Forces Russian Federation»,

Volkov Andrey Mihailovich, candidate of military sciences, docent, professor, and-mih2012@yandex.ru, Russia, Tyumen, Tyumen Higher Military Engineering Command School (Military Institute) named Marshal of Engineering Troops A.I. Proshlyakova Ministry of Defense of the Russian Federation,

Zykova Vera Konstantinovna, docent, zykova47@list.ru, Russia, Tyumen, Tyumen Higher Military Engineering Command School (Military Institute) named Marshal of Engineering Troops A.I. Proshlyakova Ministry of Defense of the Russian Federation

**ВОПРОСЫ ПРИМЕНЕНИЯ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ
ПРИ УПРАВЛЕНИИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЕМ
ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДСИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ
СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ
ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ
В УСЛОВИЯХ МАССОВЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ**

А.Н. Буренин, К.Е. Легков, В.В. Оркин

Одной из задач управления информационными системами является задача управления их функционированием, заключающаяся в выборе тех или иных процедур управления процессами предоставления услуг и параметрами в условиях массовых возмущений с отказами компонентов. Рассматриваются вопросы применения имитационной модели при управлении функционированием информационной подсистемы автоматизированной системы управления сложными организационно-техническими объектами в условиях массовых возмущений в целях получения оперативных данных о состоянии элементов и подсистемы в целом.

Ключевые слова: информационная подсистема, массовые возмущения, имитационная модель, состояние системы, управление функционированием.

В автоматизированных системах управления (АСУ) сложными организационно-техническими объектами (ОТО) важную роль играют информационные подсистемы (ИПС), которые предоставляют должностным лицам органов управления (ДЛ ОУ) информацию, необходимую для принятия ими обоснованных решений в процессе управления специальными формированиями. Функционирование ИПС представляет собой сложный процесс, а эффективное управление ею требует достоверной информации о соответствующих параметрах: пропускной способности, среднем времени обслуживания заявок на получение информационных услуг (ИУ), загруженности виртуальных каналов, состояния системы. В настоящее время информационные системы больших организаций, иногда представляющих собой искусственное объединение первоначально отдельных организаций, часто представляют собой объединение разнородных аппаратно-программных средств, баз данных, средств коммутации. При создании больших ОТО разнородные автоматизированные системы управления нередко стараются объединить в один контур управления с единой ИПС.

Необходимо понимать, что, являясь сложной системой, ИПС требует постоянного мониторинга протекающих в ней процессов и выдачи управляющих воздействий, для чего планируются определённые процедуры управления процессами предоставления ИУ и процедуры управления параметрами, характеризующими процессы функционирования ИПС.

Система оперативного управления ИПС АСУ. Исходя из целевого предназначения ИПС АСУ, организация управления их функционированием в сложных условиях обстановки предполагает возможность гибкого оперативного распределения предоставляемых в реальном масштабе времени ИУ, обеспечивающего требуемую эффективность функционирования объекта, для управления которого АСУ и предназначена [1].

Таким образом, цели управления ИПС исходят из требований ДЛ ОУ, каковыми являются:

- обеспечение необходимого качества обслуживания ДЛ ОУ;
- возможность обслуживания приоритетных ДЛ ОУ;
- способность ИПС адаптироваться к изменению требований к качеству обслуживания;
- простота подключения к ИПС.

В современных АСУ для эффективного управления сложными объектами существует необходимость предоставления широкого спектра ИУ ДЛ ОУ с требуемыми показателями качества [2]. Обеспечение требуемых значений показателей эффективности функционирования ИПС реализуется на основе работы системы оперативного управления ИПС (рис. 1).

В вопросе распределения потоков заявок на предоставление ИУ важную роль играет выбор той или иной процедуры управления функционированием. Совокупность всех возможных для ИПС процедур управления составляет множество альтернатив. Сложность состоит в выборе одной из них. Для того чтобы выбор процедуры управления был обоснованным, на данном множестве вводится некоторое отношение предпочтения по результатам работы подсистемы мониторинга, на основе информации о состоянии системы на узлах предоставления услуг (УПУ) и характеристикам, полученным с применением имитационной модели ИПС.

Структура ИПС АСУ не остается неизменной. Отдельные виртуальные каналы и УПУ могут выходить из строя под воздействием массовых возмущений и восстанавливаться. Поэтому структура ИПС будет постоянно меняться в процессе ее функционирования.

Использование имитационной модели ИПС АСУ. Получение информации, необходимой для управления ИПС, обеспечивается созданием базы данных, в которой собирается информация о различных характеристиках и параметрах подсистемы [3]. Эта база содержит следующую информацию: сведения о связности узлов, их характеристиках, скоростях виртуальных каналов, загрузке ИПС, средних задержках на каждом УПУ, сведения о резервных ресурсах, например, не задействованных каналах, сведения о подключенных абонентах, приоритетах их доступа, информацию о суточном трафике и т.д.

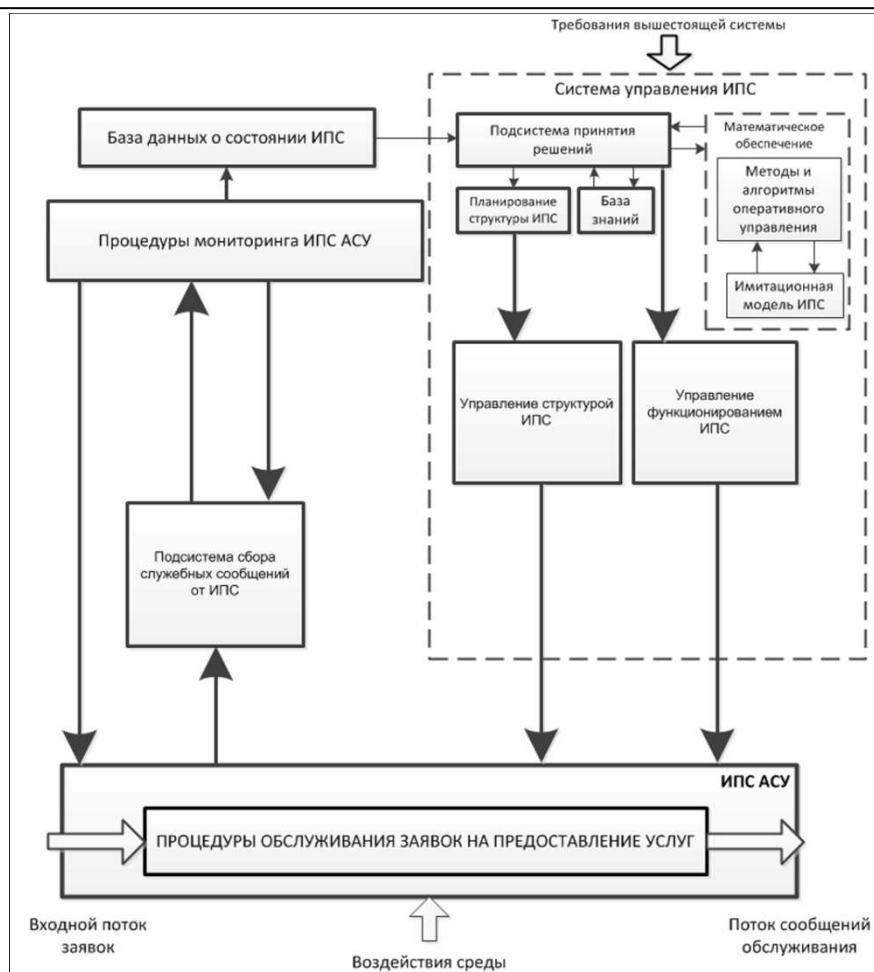


Рис. 1. Система оперативного управления ИПС

С целью выявить узкие места в ИПС и выработать рекомендации по их устранению создаются имитационные модели (системы). Модель позволяет воспроизвести процессы, протекающие в ИПС, состоящей из узлов с ограниченным объемом буферных накопителей, соединенных между собой виртуальными каналами. Источниками и приемниками информации являются абоненты, подключенные к УПУ. В качестве адреса абонента используются внутренние адреса (номера узлов, к которым прикреплены абоненты), за исключением случая моделирования подвижных абонентов. В ИПС циркулируют приоритетные потоки данных, приоритетные заявки на предоставление информации, сообщения обслуживания заявок.

В процессе опытной эксплуатации и дальнейшего функционирования ИПС АСУ накапливается опыт управления в различных условиях эксплуатации (резкого колебания нагрузки, выхода из строя отдельных компонентов). Многие ситуации, например, целенаправленные воздействия, «проигрываются» на имитационных моделях [2]. Полученные при этом типы ситуаций и практические выводы по ним накапливаются в базе знаний. База знаний обладает свойством обучаемости и адаптации к проблемной среде, в качестве которой выступает ИПС.

Важным компонентом модели системы управления (СУ) ИПС является математическое обеспечение. Математическое обеспечение СУ ИПС можно разделить на составляющие:

- методы и алгоритмы оперативного управления ИПС;
- методы и алгоритмы долгосрочного планирования и прогнозирования ситуации в ИПС;
- методы и алгоритмы развития сети, включающие средства отладки и распределения программного обеспечения СУ ИПС.

Имитационная модель ИПС (рис. 2) предназначена для моделирования процессов передачи информационных сообщений в ИПС с переменной структурой и оперативным управлением ею в условиях массовых возмущений с целью выяснения узких мест в ИПС и выработки рекомендаций по их устранению и пополнению базы знаний.



Рис. 2. Имитационная модель ИПС АСУ

Модель должна отражать процессы, протекающие в системе, состоящей из УПУ с ограниченными объемами буферных накопителей, соединенных между собой ветвями, в состав которых входит любое число информационных каналов. Источниками и приемниками информации являются ДЛ ОУ, подключенные к УПУ. В ИПС циркулируют приоритетные потоки информации. Максимальное количество приоритетов должно задаваться в виде исходных данных. Количество заявок на предоставление ИУ, поступающих в ИПС в определенные моменты времени, зависит от интенсивности обмена между абонентами системы. Интервалы времени между поступлением двух заявок в ИПС ввиду большого числа ДЛ ОУ распределены по экспоненциальному закону.

Воздействие на сеть моделируется потоками отказов и восстановлений виртуальных каналов и УПУ, а целенаправленное воздействие в виде стратегий воздействия вводится в процесс моделирования оператором модели [3]. Он может в любой момент времени вывести из строя произвольное количество узлов и каналов, а также и восстановить их (моделируя снятие помех).

Другой оператор (система управления ИПС) в процессе моделирования должен вести процесс управления ИПС. Например, вводить резервные каналы, узлы, осуществлять реконфигурацию сети, отключать сервера, сменять процедуры управления функционированием и изменять требования к качеству обслуживания потоков [3, 4]. Это позволит моделировать «игровые» ситуации, что дает возможность отрабатывать тактику эксплуатации ИПС в условиях массовых возмущений. Должна быть предусмотрена возможность остановки работы модели в любой момент времени с просмотром мгновенных срезов процессов, протекающих в ИПС и дальнейшее моделирование с момента остановки без изменений процессов, протекающих в сети.

Основными исходными данными для работы модели являются: характеристики структуры, потоков заявок, отказов и восстановлений; набор процедур управления функционированием; характеристики алгоритмов управления структурой сети;

Модель должна получать следующие основные характеристики:

- пропускную способность ИПС;
- вероятности своевременного доведения заявок разных приоритетов;
- вероятности своевременного доведения информационных сообщений обслуживания разных приоритетов;
- средние коэффициенты загрузки каналов заявками и служебной информацией;
- коэффициенты загрузки каналов информацией пользователей, служебной информацией;
- вероятность того, что произвольный узел заблокирован;
- список заблокированных узлов.

Модель должна оценить применяемую процедуру управления ИПС и иметь блочную структуру, что позволит моделировать самостоятельно блоки и легко модернизировать модель.

Заключение

Применение процедур оперативного управления функционированием ИПС АСУ должно быть обосновано современными требованиями, предъявляемыми к данным системам. Наиболее перспективным для повышения результативности ИПС АСУ видится комплексное применение процедур управления функционированием в зависимости от состояния системы. Выбор той или иной процедуры управления должен осуществляться по определённому алгоритму, с использованием базы знаний, накопленных

при имитационном моделировании ИПС в различных условиях. Данный алгоритм будет основой для методики повышения эффективности функционирования ИПС АСУ в условиях массовых возмущений [4]. В настоящее время вопросы функционирования ИПС АСУ в условиях массовых возмущений рассмотрены недостаточно полно, а исследования вопросов адаптивного управления информационными потоками в основном относятся к вычислительным сетям с пакетной коммутацией и сетям связи [5]. Поэтому исследования области распределения потоков заявок на предоставление ИУ в ИПС АСУ является актуальными в настоящее время.

Список литературы

1. Буренин А.Н., Курносков В.И. Теоретические основы управления современными телекоммуникационными сетями / под ред. д-ра техн. наук, проф. В.И. Курносова. М.: Наука, 2011. 464 с.
2. Буренин А.Н., Легков К.Е. Инфокоммуникационные системы и сети специального назначения. Основы построения и управления. М.: ИД Медиа Паблишер. 348 с.
3. Присяжнюк С.П., Мигалин В.Н., Овчинников Г.Р. Интегральные сети АСУВ. Системы коммутации пакетов. Л.: ВИКИ им. А.Ф.Можайского, 1989. 93 с.
4. Легков К.Е., Буренин А.Н. Управление эффективностью инфокоммуникационных систем специального назначения // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт, 2014. Т. 8. №3. С. 42-46.
5. Оркин В.В., Левко И.В., Умаров А.Б. Анализ методов распределения потоков в информационных системах специального назначения // Н&ES: Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2016. Т.8. №.S2. С. 6-10.

Буренин Андрей Николаевич, д-р техн. наук, доц., главный специалист группы системного анализа, konferencia_asu_vka@mail.ru, Россия, Санкт-Петербург, АО «НИИ «Рубин»,

Легков Константин Евгеньевич, канд. техн. наук, начальник кафедры, constl@mail.ru, Россия, Санкт-Петербург, Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского,

Оркин Вадим Витальевич, адъюнкт кафедры, orc225@mail.ru, Россия, Санкт-Петербург, Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского

ISSUES IN THE APPLICATION OF SIMULATION MODELS IN THE MANAGEMENT OF THE FUNCTIONING OF THE INFORMATION SUBSYSTEM OF THE AUTOMATED CONTROL SYSTEM OF COMPLEX TECHNICAL OBJECTS IN CONDITIONS OF MASS DISTURBANCES

A.N. Burenin, K.E. Legkov, V.V.Orkin

One of the tasks of information systems management is the management task to their function, which consists in selecting specific procedures for the management processes of service provision and under the conditions of mass disturbances with the component failures. The article discusses the use of simulation models in the management of the functioning of the information subsystem of the automated control system of complex technical objects in conditions of mass disturbances in order to obtain operational state data of elements and subsystems in General.

Key words: information system, mass disturbances, simulation model, system status management function.

Burenin Andrey Nikolaevich, doctor of technical sciences, chief specialist of the system analysis group, docent, konferencia_asu_vka@mail.ru, Russia, Saint-Petersburg, JSC «NII «Rubin»,

Legkov Konstantin Evgenyevich, candidate of technical sciences, head of the department, constl@mail.ru, Russia, Saint-Petersburg, Military Space Academy,

Orkin Vadim Vitalyevich, postgraduate, orc225@mail.ru, Russia, Saint-Petersburg, Military Space Academy

УДК 355.1

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БОЕВЫХ БРИГАД СУХОПУТНЫХ ВОЙСК США

С.О. Кривошонок, Ю. А. Попков, А. А. Морару

Рассмотрены современное состояние органов и пунктов управления и направления развития технической основы системы управления боевых бригад сухопутных войск США.

Ключевые слова: система управления, боевая бригада, сухопутные войска США, автоматизированная система, тактика.

Существующая до 2003 года организационная штатная структура объединений, соединений, частей и органов управления сухопутных войск (СВ) Соединенных Штатов Америки (США) подверглась коренному пересмотру. В 2004 году началась их реорганизация, которая к концу 2013 года привела к новому модульному принципу построения организационной структуры сухопутных войск, таких как: командование сухопутных войск Объединенного командования Вооруженных сил США; штаб полевой армии, армейского корпуса; штаб дивизии; штаб бригады.

В ходе реформирования в составе сухопутных войск США были созданы 6 штабов армий, 3 штаба армейских корпусов, 18 штабов дивизий и 65 боевых бригад (20 тяжелых (бронетанковых) бригад, 28 пехотных бригад, 3 вшбр, 5 вдбр, 9 механизированных бригад «Страйкер») [1].

В соответствии с уставами в ВС США на штабы бригад возлагаются функции исполнительного органа, а на штабы дивизий, корпусов и армий - оперативного планирования [1, 2].

Управление бригадой заключается в целенаправленной работе командира и штаба по поддержанию в постоянной боевой готовности, подготовке к бою и управлению при выполнении боевых задач вверенным соединением.

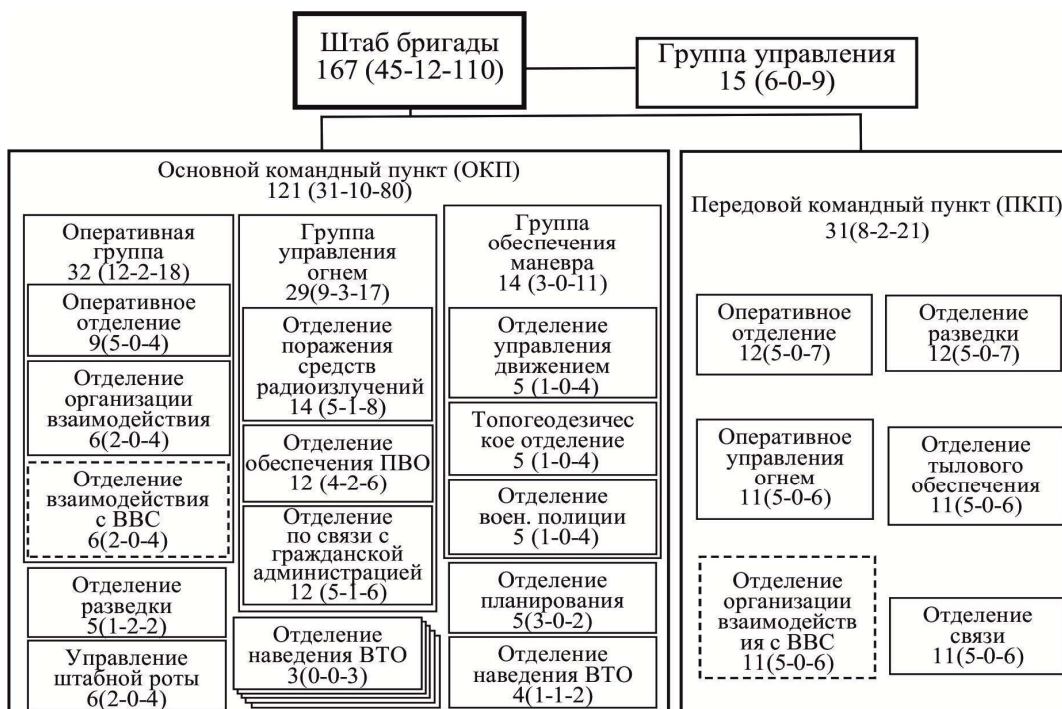
Организационно-техническую основу управления подразделениями в бригаде составляет система управления.

Под системой управления американскими специалистами понимается совокупность взаимосвязанных элементов: органов (пунктов) управления, линий (систем) связи и автоматизированных систем управления (АСУ).

Система управления боевых бригад должна обладать высокой боеготовностью и устойчивостью, а также обеспечивать как централизованное, так и децентрализованное управление подразделениями.

Основным органом управления боевой бригады является группа управления, перемещающаяся между командными пунктами и обеспечивающая непрерывное управление соединением. В ее состав входят командир бригады, один из заместителей командира бригады и группа офицеров, определенная командиром для обеспечения управления.

Управление бригад организационно включает штаб и штабной батальон. Вариант распределения личного состава (по категориям: рядовые и сержанты, уорент-офицеры и офицеры) штаба бронетанковой (тяжелой) бригады представлен на рисунке.



Организационная структура штаба бронетанковой бригады

При ведении боевых действий из штаба бригады формируются группа управления и два командных пункта (основной и передовой тактический). При этом каждому командному пункту может придаваться группа взаимодействия с военно-воздушными силами ВВС (один офицер и два сержанта ВВС США). Он предназначен для оказания помощи командиру в принятии решения и организации его выполнения.

Основной командный пункт (ОКП) является главным пунктом управления исходя из своего названия. Обычно он разворачивается в позиционном районе на удалении, не позволяющем воздействию артиллерии противника средней дальности.

Основными требованиями при выборе места развертывания ОКП являются живучесть и эффективность управления. Схема пункта управления, порядок его развертывания и временные нормативы могут меняться в зависимости от местности и обстановки. При ведении интенсивных боевых действий предусматривается перемещение ОКП не менее 3 раз в сутки.

Задачи решаемые личным составом ОКП:

учет и контроль ведения боевых действий;

планирование и анализ боевых действий;

разработка задач для подразделений бригады;

определение подготовительных задач для разведки при ведении боевых действий;

подготовка информационных документов, на основе полученных разведывательных данных;

подготовка макетов местности и оформление карт района предстоящих действий;

руководство информационной деятельностью частей и подразделений бригады;

контроль состояния боеготовности и численности подразделений бригады;

взаимодействие с гражданской администрацией и населением в районе боевых действий;

организация мероприятий по всестороннему обеспечению штаба бригады;

разработка и представление отчетных документов по указанию вышестоящего штаба.

Для выполнения этих задач в состав ОКП входят четыре группы (оперативная, управления огнем, обеспечения маневра и тылового обеспечения) и функциональные отделения (планирования, связи и разведки).

Кроме того, ОКП придают: отделение взаимодействия с ВВС (входит в оперативную группу), отделения наведения высокоточного оружия (входят в состав группы управления огнем) и отделение обеспечения (выполняет функции штабной роты).

Оперативная группа отвечает за непрерывное управление в ходе ведения боевых действий, сбор и обработку данных об обстановке, организацию взаимодействия с пунктами управления приданных, поддерживаю-

щих и штатных подразделений соединения. В состав группы входят три отделения: оперативное, организации взаимодействия и отделение взаимодействия с ВВС.

Группа управления огнем отвечает за целеуказание для артиллерийских подразделений, входящих в состав бригады, за организацию противовоздушной обороны (ПВО), взаимодействие с гражданской администрацией, наведение высокоточного оружия. В ее состав входят отделения: поражения средств радиоизлучений, обеспечения ПВО, по связям с гражданской администрацией и наведения высокоточного оружия (ВТО).

Группа обеспечения маневра отвечает за подготовку маршрутов передвижения подразделений бригады, а также организацию ведения разведки (в том числе и инженерной) и охранение на маршрутах передвижения управления бригады. В состав группы входят три отделения: управления движением, топогеодезическое и военной полиции.

Группа тылового обеспечения отвечает за всестороннее обеспечение штаба. В ее состав входят три отделения: учета личного состава, тыла и медицинского обеспечения, а также военных священников.

Разведывательное отделение отвечает за обработку и анализ полученных разведывательных данных, а также за информационное обеспечение проводимых и планируемых боевых действий.

Отделение планирования отвечает за разработку замысла предстоящих боевых действий. Отделение связи отвечает за развертывание и работу на ОКП телекоммуникационных средств обмена данными между пунктами управления.

Передовой (тактический) командный пункт (ПКП) боевой бригады осуществляет непосредственное управление действиями подчинённых частей и подразделений. Минимальное количество личного состава, оборудования и наличие двойного комплекта средств связи позволяют ПКП быстро развертываться (свертываться), перемещаться как днем, так и ночью. Руководит пунктом заместитель командира бригады или (в его отсутствие) начальник оперативного отделения.

Основные задачи ПКП идентичны задачам ОКП, но благодаря своей мобильности позволяет отслеживать оперативную обстановку и уточнять задачи (при изменении обстановки) частям и подразделениям при различной интенсивности боевых действий.

Обычно состав ПКП состоит из офицеров различных отделений штаба бригады и уточняется командиром. Организационно он состоит из двух оперативных групп.

Оперативная группа № 1 отвечает за контроль и координацию боевых действий своих частей и подразделений, отслеживание боевой обстановки и организацию всестороннего взаимодействия. Она состоит из оперативного отделения и отделения управления огнем, а также отделения взаимодействия с ВВС (при необходимости).

Оперативная группа № 2 отвечает за вопросы всестороннего обеспечения и включает в себя отделение разведки, отделение тылового обеспечения и отделение связи.

Перемещение пунктов управления определяется требованиями по обеспечению непрерывности и надежности управления войсками, а также живучести системы управления при огневом воздействии противника.

Система управления боевых бригад базируется на широком применении технических средств, средств связи и других радиоэлектронных средств и систем. Основа взаимосвязанного функционирования этих систем осуществляется эксплуатацией единой АСУ войсками [3].

Под АСУ понимается взаимосвязанная совокупность соединенных в локальную вычислительную сеть средств обработки информации, связи и передачи данных, обеспечивающих автоматизацию процессов сбора, анализа и оценки данных обстановки, поддержки принятия решения, планирования, постановки и доведения задач до войск (сил) в режиме реального времени, а также контроля их выполнения.

В настоящее время в боевых бригадах СВ США эксплуатируется информационная система боевого управления FBCB2 BFT2 (*Force XXI BattleCommandBrigadeorBelow*), охватывающая тактическое управление по иерархии «бригада-батальон-рота-взвод-отделение (танк)» и обеспечивающая информационную поддержку и интеграцию функций других автоматизированных систем при выполнении боевых задач. Оконечные устройства единой АСУ тактического звена подразделяются на бортовые (наземные и воздушные) и персональные [4,6,7].

Терминалы FBCB2 размещенные на борту бронеобъектов, ракетных пусковых установок, многоцелевых автомобилей повышенной проходимости и воздушных объектов сопрягается с бортовыми средствами связи и приемником системы GPS. Обмен данными между терминалами осуществляется с использованием систем организации боевых радиосетей (SRW, EPLRS, SINCGARS) и военной системы подвижной спутниковой связи «MUOS» (последний 5 спутник был запущен на орбиту 24 июня 2016 года).

Дальнейшее развитие АСУ тактического звена предусматривает совершенствование программного обеспечения и тактической сети связи.

Основой связи в тактическом звене СВ США станет система WIN-T (*WarfighterInformationNetworkTactical*), которая сменит систему порайонной связи MSE (*MobileSubscriberEquipment*). Недостатком последней является ее неспособность обеспечить взаимодействие между мобильными высокоскоростными участниками информационного обмена [5,6].

Дальнейшее развитие мобильной транспортной инфраструктуры тактической сети будет связано с формированием системы защищенной спутниковой связи, функционирующей в Ka-диапазоне частот.

Таким образом американские военные эксперты считают, что дальнейшее развитие системы управления боевых бригад СВ США будет направлено на создание единой мобильной транспортной инфраструктуры и

ее тесной интеграции с АСУ в интересах обеспечения своевременного распределения объединённых данных о боевой обстановке, а также скорости передачи приказов и графической информации и в итоге их доведения до непосредственных исполнителей.

Список литературы

1. Сидорин А.Н., Прищепов В.М., Акуленко В.П. Вооруженные силы США в XXI веке: воен.-теорет. тр. М.: Военная книга, 2013. 792с.
2. Явнов О. Система боевого управления сухопутных войск США в звене «бригада и ниже» // Зарубежное военное обозрение. 2012. № 2. С. 43–50.
3. Леонкова А. Технические аспекты управления войсками России и США // Арсенал Отечества, 2016. №1. [Электронный ресурс] URL <http://www.arsenalotechstva.ru/article/753> (дата обращения: 10.09.2017).
4. Сканцева А. К вопросу об автоматизации системы управления вооруженных сил США. // Зарубеж. воен. обозрение. 2015. №4. С.24–32.
5. Эльдаров П. Перспективная автоматизированная система связи WIN-T сухопутных войск США // Зарубеж. воен. обозрение. 2016. №1. С.57–61.
6. FM 6-02 Signal Support to Operations. Department of the Army, January 2014.
7. FMI 6-02.60 Tactics, Techniques, and Procedures (TTPs) for the Joint Network Node-Network (JNN-N). Department of the Army. September 2008.

Кривошонок Сергей Олегович, канд. воен. наук, доц., проф., lesha.moraru@mail.ru, Россия, Санкт-Петербург, Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного,

Попков Юрий Алексеевич, преподаватель кафедры, lesha.moraru@mail.ru, Россия, Санкт-Петербург, Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного,

Морару Алексей Алексеевич, адъюнкт кафедры, lesha.moraru@mail.ru, Россия, Санкт-Петербург, Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного

US ARMY BRIGADE COMBAT TEAM'S COMMAND AND CONTROL SYSTEM ELEMENT'S IMPROVING

S.O. Krivoshonok, Yu.A. Popkov, A.A. Moraru

The article deals with the modern state of command and control system and it's directions of development for US Army brigade combat teams.

Key words: command and control system, brigadecombat team, the US Army, automated system, tactics.

Krivoshonok Sergei Olegovich, candidate of military sciences, docent, associated professor, lesha.moraru@mail.ru, Russia, Saint-Petersburg, Military Academy of communications named after Marshal Of The Soviet Union S. M. Budyonny

Popkov Yuri Alexeyevich, lecturer, lesha.moraru@mail.ru, Russia, Saint-Petersburg, Military Academy of telecommunications named after Marshal of the Soviet Union S. M. Budyonny

Moraru Alexei Alexeyevich, postgraduate, lesha.moraru@mail.ru, Russia, Saint-Petersburg, Military Academy of telecommunications named after Marshal of the Soviet Union S. M. Budyonny

УДК 355.4

СПОСОБЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГРУППИРОВКИ ВОЙСК (СИЛ) НА ОПЕРАЦИОННОМ НАПРАВЛЕНИИ

В.И. Власов, И.А. Расщепкин, С.В. Степанов

Рассматриваются организационные способы совершенствования способов управления оружием в целях сокращения времени поражения объектов противника в ходе боевых действий с использованием единого разведывательно-информационного пространства.

Ключевые слова: система управления войсками и оружием, боевые действия, поражение объекта, автоматизированная система, боевое применение войск.

Современные технологии кардинальным образом изменили формы и способы боевых действий: повысилась динамичность ведения боя, изменилась тактика родов войск и видов ВС, значительно возрос объем добываемой и анализируемой информации. Сами боевые действия распространились на ранее не задействованные в противоборстве сферы - информационное и киберпространство.

Совершенствование способов ведения боевых действий и развитие технологий оказывают взаимное влияние друг на друга. Использование современных высокоскоростных систем связи и передачи информации, а также средств обработки информации способно значительно сократить циклы управления войсками и оружием, повысить полноту и своевременность обнаружения объектов противника, что способствует повышению вероятности их поражения. В свою очередь, новые требования и усовершенствованные способы ведения боевых действий для достижения превосходства над противником влекут за собой совершенствование существующих или создание новых образцов вооружения и военной техники (ВВТ).

В современных условиях наиболее быстрым способом поразить вскрытый объект является интеграция средств обнаружения и поражения в едином комплексе. Типичными примерами реализации такого подхода является разведывательно-ударный комплекс и комплекс радиоэлектронной борьбы (РЭБ) на базе беспилотного летательного аппарата (БЛА). Однако при определенных условиях такой комплекс не всегда сможет обеспечить эффективное выполнение задачи, в том числе из-за неблагоприятных метеоусловий, недостаточной мощности средств поражения на борту и т.п.

С изменением параметров боевых действий необходимо совершенствование системы управления войсками и оружием (СУВО).

Современная функциональная структура контура управления группировки войск (сил) ВС РФ представляет собой взаимосвязь трех элементов (рис. 1). В данном контуре передача информации об объекте, планируемом к поражению, осуществляется последовательно от комплекса разведки органу управления и далее - комплексу поражения.

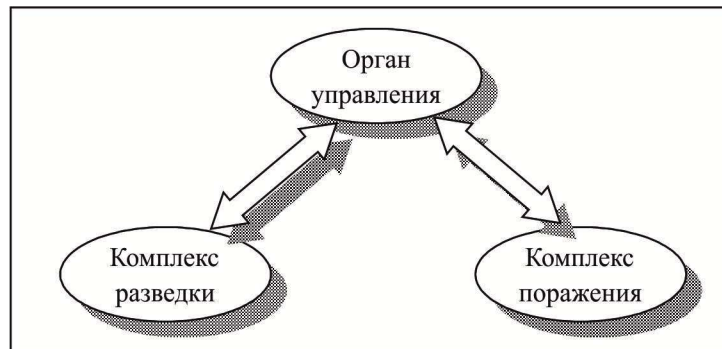


Рис. 1. Современная функциональная структура контура управления в ВС РФ

В рамках оптимизации процессов управления одной из актуальных задач является сокращение времени доведения результатов разведки до средств поражения в виде, удобном для их применения. Технически данная задача решается повышением возможностей современных средств связи и автоматизации. Также совершенствование системы возможно за счет оптимизации процессов обработки информации, в частности, максимальной автоматизации этих процессов для снижения временных затрат на отображение, обработку и оценку полученных данных. Основным параметром, оказывающим наибольшее влияние на длительность процесса на данном этапе, считается время реакции органа управления на изменение обстановки, в частности – время от поступления на пункт управления данных об объекте до выдачи средствам поражения целеуказаний, соответствующих сложившейся обстановке. В данный период времени входят такие составляющие, как время на оценку обстановки (с учетом новых данных, степени их достоверности и важности), время на сравнение полученной информации с данными от взаимодействующих формирований, время на определе-

ние вероятного характера действий противника, время на оценку возможностей своих сил и средств по поражению объекта и выбор типа средств (конкретного формирования) для поражения цели. Таким образом, большую часть действий на данном этапе составляют процессы обработки должностным лицом пункта управления разнородных данных.

В настоящее время современные средства обработки боевой и служебной информации на пунктах управления войсками обычно разрабатываются должностными лицами «под себя» с использованием «штатных» программ пакета MicrosoftOffice, с учетом существующей на момент деятельности специфики обстановки и состояния войск, не обладают гибкой архитектурой и не имеют широкого распространения. Таким образом, автоматизация процессов обработки для поддержки принятия решения на пунктах управления соединения (части) ВС РФ находится на минимальном уровне.

В то же время в данном направлении ведутся работы по созданию Единой системы управления (ЕСУ) тактического звена (ТЗ). Идея создания ЕСУ ТЗ в целом схожа с создаваемой в настоящее время автоматизированной системой управления (АСУ) Сухопутных войск (СВ) США «бригада и ниже» (*FBCB2 -Force Battle Command Brigade and Below*) [1]. Основной идеей концепции создания АСУ и связи нового поколения является обеспечение органов военного управления возможностью распределенного доступа ко всей имеющейся информации для максимально полной оценки обстановки и принятия обоснованного решения в кратчайший срок.

Основными организационными принципами реализации такой концепции являются: сетевой; совместимости; открытости [2]. В частности, каждый пункт управления созданной группировки войск является узлом единой информационной сети; его принадлежность к роду войск (виду ВС) и звену управления определяет его уровень доступа и характер предоставляемой информации; открытость системы позволяет изменять состав группировки в зависимости от обстановки и решаемых задач без потери единства и функциональности системы управления. Реализация этих принципов в совокупности обеспечивает существенное повышение динамичности боевых действий и устойчивости системы управления.

Частными вопросами, решаемыми в рамках реализации программы ЕСУ ТЗ, является автоматизация процессов, выполняемых должностными лицами ПУ войсками, рассмотренных выше. Так, создание на этапе подготовки и планирования операции базы данных, содержащей информацию о составе ВС вероятного противника, позволит оценить боевой и численный состав ожидаемой группировки войск противника, ее боевые возможности, заранее распределить объекты противника по важности (определить очередность поражения), степени досягаемости, заблаговременно определить целесообразность и порядок применения различных типов своих сил и средств. Создание на основе этих правил алгоритма оптимизации выбора

средства (набора средств) поражения позволит значительно сократить время обработки добытых данных на ПУ войсками и принятия решения на применение различных видов вооружения по вскрытым объектам, а в некоторых случаях исключить необходимость ожидания команды на поражение от вышестоящего органа управления.

Такой способ позволяет организовать доведение добытой комплексом разведки информации непосредственно до комплекса поражения и существенно сократить время от обнаружения до поражения объекта противника.

Создание «временного ударного контура» подразумевает реализацию основной цели формирования единого разведывательно-информационного пространства (ЕРИП) (рис. 2) – повышение эффективности боевого применения войск.

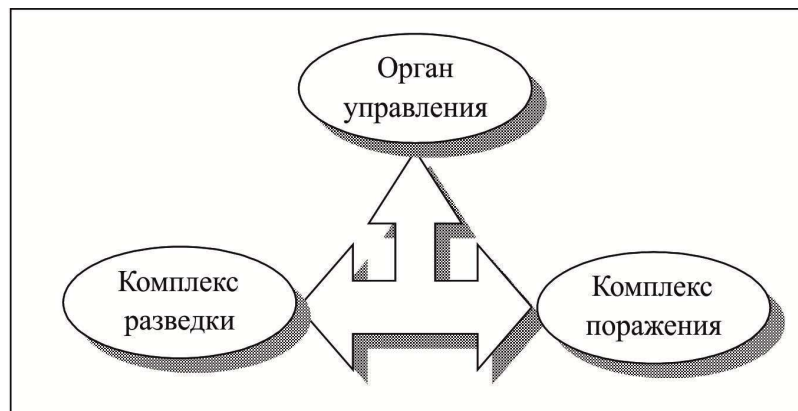


Рис. 2. Перспективная функциональная структура контура управления в ВС РФ – «временный ударный контур»

Таким образом, повышения эффективности функционирования системы управления войсками и оружием в условиях современных боевых действий можно добиться совокупностью как технических, так и организационных мер. В качестве одного из способов сокращения цикла управления на определенных этапах предлагается создание в рамках ЕРИП «временных ударных контуров» на период (этап) операции.

Список литературы

1. Ионов С.В. Информационно-телекоммуникационные технологии. Системы, средства связи и управления // Информац.-аналит. сб. Воронеж: АО «Концерн «Созвездие». 2016. №2. С.11–14 .
2. Романов Р. Состояние и перспективы развития системы управления боевых бригад СВ США // Зарубеж. воен. обозрение. 2014. №7. С.44-49.
3. Рахманов А.А. Принципы и подходы к концептуальному проектированию сетевых систем // Известия ЮФУ. Технические науки. 2010. С.125–134.

4. Копытко В.К., Шептура В. Н. Проблемы построения единого информационного пространства Вооруженных Сил Российской Федерации и возможные пути их решения // *Воен. мысль*. 2011. №10. С.16–26.

5. Азов В. О реализации в США концепции ведения военных действий в едином информационном пространстве // *Зарубеж. воен. обозрение*. 2004. №6. С. 10–17.

6. Дубов Д. Перспективы развития системы управления воздушным компонентом объединённых оперативных формирований США // *Зарубеж. воен. обозрение*. 2010. №8. С.56–62.

7. Паршин С., Кожанов Ю. Современные тенденции в совершенствовании системы управления ВС ведущих зарубежных стран в информационную эпоху // *Зарубеж. воен. обозрение*. 2009. №6. С.3–10; №7. С.3–9.

Власов Владимир Иванович, канд. техн. наук, зам. начальника отдела, lesha.moraru@mail.ru, Россия, Москва, НИИ ТП,

Расщепкин Иван Александрович, адъюнкт кафедры, lesha.moraru@mail.ru, Россия, Санкт-Петербург, Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного,

Степанов Сергей Владимирович, канд.воен.наук, начальник кафедры, lesha.moraru@mail.ru, Россия, Санкт-Петербург, Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного

SOME WAYS OF IMPROVING THE SYSTEM OF MANAGEMENT OF GROUPS OF TROOPS (FORCES) ON THE OPERATING DIRECTION IN THE INTERESTS OF DEFEAT OF ENEMY

V.I. Vlasov, I.A. Rasshchepkin, S.V. Stepanov

The article examines the organizational ways of command and control improvement methods to reduce time of adversaries objects defeat while using a joint reconnaissance-information space.

Key words: weapons command and control system, fighting, the defeat of the object, automated system, troops combat application.

Vlasov Vladimir Ivanovich, candidate of technical sciences, Deputy head of Department, lesha.moraru@mail.ru, Russia, Moscow, NII TP,

Raschepkin Ivan Alexandrovich, postgraduate, lesha.moraru@mail.ru, Russia, Saint-Petersburg, Military Academy of telecommunications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny,

Stepanov Sergey Vladimirovich, candidate of military sciences, head of the Department, lesha.moraru@mail.ru, Russia, Saint-Petersburg, Military Academy of communications named after Marshal Of The Soviet Union S.M. Budyonny

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

УДК 621.313.292

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ФЕРРОМАГНИТНОЙ ДРОБИ С КАТУШКОЙ ИНДУКТИВНОСТИ ПРИ РАБОТЕ НА ПОСТОЯННОМ ТОКЕ

Г.А.Шевцов

Рассматривается возможность ускорения ферромагнитной дроби посредством стационарного электромагнитного поля катушек индуктивности для применения в дробеобрабатывающем оборудовании. Проведёно исследование возможности создания потока ускоренной дроби через соленоид, питаемый постоянным током. Представлены результаты анализа моделирования катушек индуктивности цилиндрической формы в сравнении с экспериментальными данными. Проведено математическое моделирование катушек индуктивности различных форм с целью получения несимметричного магнитного поля внутри ствола, сделаны выводы на основании результатов моделирования.

Ключевые слова: соленоид, катушка, ускоритель, дробь, дробемёт.

В современной промышленности широко применяется технология обработки металла дробью для удаления окалины и ржавчины. Ускорение потока дроби до скорости 70-80 м/с происходит за счёт соударения дроби и лопаток турбины вращаемой электромотором. Однако при таком способе ускорения дроби лопатки турбины значительно изнашиваются и требуют периодической замены. В статье рассматривается возможность ускорения потока дроби за счёт воздействия на неё электромагнитным полем, что позволит сократить затраты на эксплуатацию оборудования. Теоретически возможность применения электромагнитов обусловлена тем, что в технологическом процессе дробеобработки применяется дробь из стали или чугуна, то есть из материалов, обладающих ферромагнитными свойствами.

Процесс ускорения потока дроби электромагнитным полем не имеет широкого освящения в научных публикациях, однако к смежной области исследований можно отнести работы по ускорению единичных ферро-

магнитных тел [1-9]. В представленных работах рассматриваются в основном импульсные методы ускорения с использованием ёмкостных накопителей энергии, что не предполагает ускорения потока дроби в постоянном режиме.

Исходя из опыта предыдущих исследований [10, 11] сделаны выводы о возможности упрощения конструкции ускорителя. В качестве альтернативы рассматривается возможность использования катушек индуктивности питаемых постоянным током и имеющими магнитопроводсоздающий неравномерное магнитное поле внутри ствола. Предполагается возможность создания стационарного магнитного поля, что позволит без использования сложной системы коммутации катушек индуктивности создать постоянный поток дроби.

Моделирование электромагнитных полей проводится методом конечных элементов в профессиональной версии программы Elcut, количество узлов сетки моделей не менее 90000, задачи являются осесимметричными. Дробь выполнена из чугуна, имеет диаметр 2,5 мм, массу $6,37 \cdot 10^{-5}$ кг. Относительная магнитная проницаемость дроби и магнитопровода катушки равна 1000. Начальная скорость дроби 0,5 м/с.

Расчёт скорости дроби v производится по формуле

$$v = v_0 + a \cdot dt,$$

где v_0 – скорость дроби в предыдущий момент времени, м/с; a – ускорение дроби, м/с²; dt – шаг по времени, с.

Ускорение дроби находится из формулы

$$a = F/m,$$

где F – сила, действующая на дробь, Н; m – масса дроби, кг.

Расчёт силы действующей на дробь производится по выражению

$$F = \frac{1}{2} \oint (H(n \cdot B) + B(n \cdot H) - n(H \cdot B)) ds,$$

где H – напряженность магнитного поля; B – магнитная индукция поля катушки, интегрирование ведётся по поверхностиокружающей дробь; n – единичный вектор внешней нормали к её поверхности.

Во всех моделях обмотка выполнена из расчёта применения провода сечением $S_{\text{пр}} = 1,767 \text{ мм}^2$ с током 3,5 А. Количество витков N в катушке меняется вместе с площадью катушки $S_{\text{кат}}$:

$$N = S_{\text{кат}} / 2S_{\text{пр}}.$$

При моделировании процесса ускорения дроби важное значение имеет выбор шага по времени dt :

$$l = v \cdot t,$$

где l – путь, м; v – скорость, м/с; t – время, с, при шаге 0,0005 с и скорости 4 м/с расстояние, которое пройдёт дробинка, равно 2 мм, а при скорости 20 м/с перемещение составит уже 10 мм.

Представленные расчёты наглядно иллюстрирует рис. 1, на котором изображены графики перемещения дроби, полученные из одной модели с неизменными параметрами, но при $dt = 0,0005$ и $0,0001$ с.

Результирующим параметром в данной работе является скорость дроби после её выхода за пределы магнитного поля катушки. Такому положению соответствует правая часть графика скорости, на котором он приобретает линейный характер. На рис. 1,а скорость на выходе из катушки равна 36 м/с, на рис. 1,б – $5,4$ м/с. Разница в полученных результатах обусловлена тем, что при большом dt перемещение дроби за один временной шаг может быть сопоставимо с размерами катушки.

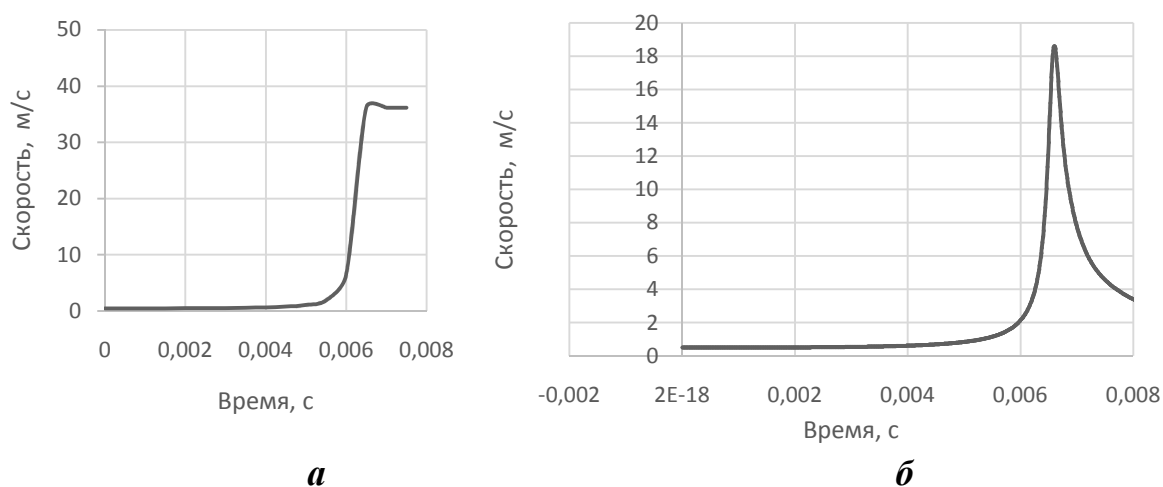


Рис. 1. Графики перемещения дроби: а - график скорости при $dt = 0,0005$; б - график скорости при $dt = 0,0001$ с

Тогда дробь, ускорившись в левой части катушки за один временной шаг, перемещается за её пределы, минуя правую часть катушки, в которой электромагнитное поле втягивает дробь в направлении, обратном её движению. При малом значении dt можно проследить изменение силы, действующей на дробь в разных частях катушки, тем самым приближая моделирование к реальному эксперименту.

Проведено моделирование катушек индуктивности, имеющих цилиндрическую форму постоянного сечения (рис. 2, б), результаты моделирования, представленные на графике (рис. 2, а), характеризуют все варианты цилиндрических моделей, с которыми проводились расчёты.

По причине симметричности магнитного поля внутри цилиндрической катушки относительно её центра, силы, действующие на дробь, находящуюся внутри неё, меняют своё направление после прохождения дробию центра катушки. Таким образом, при движении слева на право, дробь вначале ускоряется полем катушки и втягивается в неё, после того, как дробь проходит центр катушки, её скорость падает, а потом возрастает с обратным знаком и процесс перемещения дроби приобретает колебательный характер.

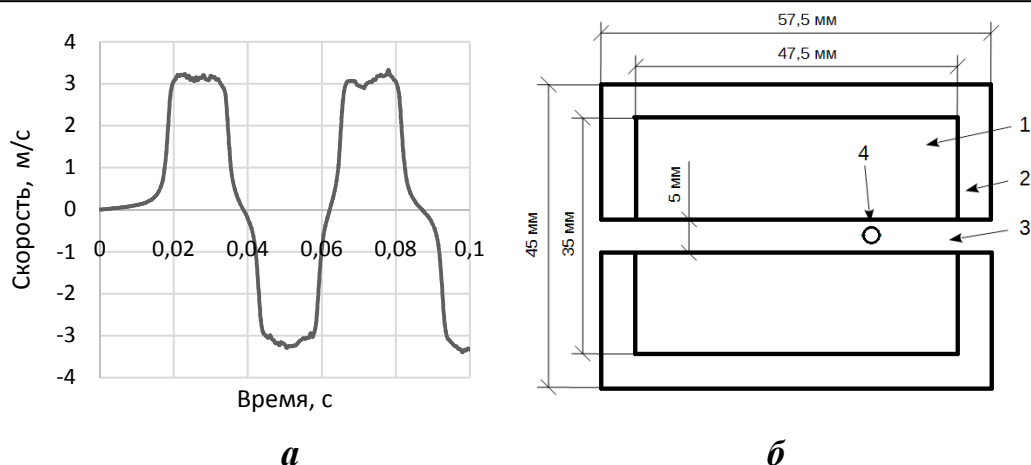


Рис. 2. Результаты моделирования катушек индуктивности, имеющих цилиндрическую форму: а - график скорости при моделировании цилиндрической катушки; б – разрез модели цилиндрической катушки с размерами; 1 – обмотка; 2 – магнитопровод; 3 – ствол; 4 – дробь

Изменение модели, в том числе полное отсутствие магнитопровода, частичное отсутствие магнитопровода, когда нет его левой или правой стенки, изменение размеров катушки не приводит к качественному изменению графика скорости, магнитное поле катушки захватывает дробь и она остаётся колебаться внутри катушки в окрестности её центра либо вылетает из катушки в произвольном направлении (рис 3).

В результате получена модель взаимодействия магнитного поля цилиндрической катушки индуктивности и дроби внутри ствола, соответствующая экспериментальным данным [10], полученным в предыдущих работах.

Следующей задачей является проверка возможности создания несимметричного электромагнитного поля внутри катушки индуктивности с целью получения такого эффекта, когда катушка ускоряет дробь в своей левой части и не замедляет её пока дробь пролетает правую часть катушки.

Исходя из предыдущих результатов моделирования сила, действующая на дробь, сонаправлена с градиентом напряженности магнитного поля. Таким образом, необходимо создать внутри катушки такое магнитное поле, когда градиент в левой его части значительно больше градиента магнитного поля правой части.

Добиться получения несимметричного магнитного поля внутри катушки возможно путём изменения её формы и формы магнитопровода. Было проведено исследование ряда моделей различных размеров. В результате получена конфигурация катушки (рис. 4) с магнитным полем, позволяющим стабильно ускорять дробь в необходимом направлении при постоянном токе. Подобная конструкция описана в работах [12, 13].

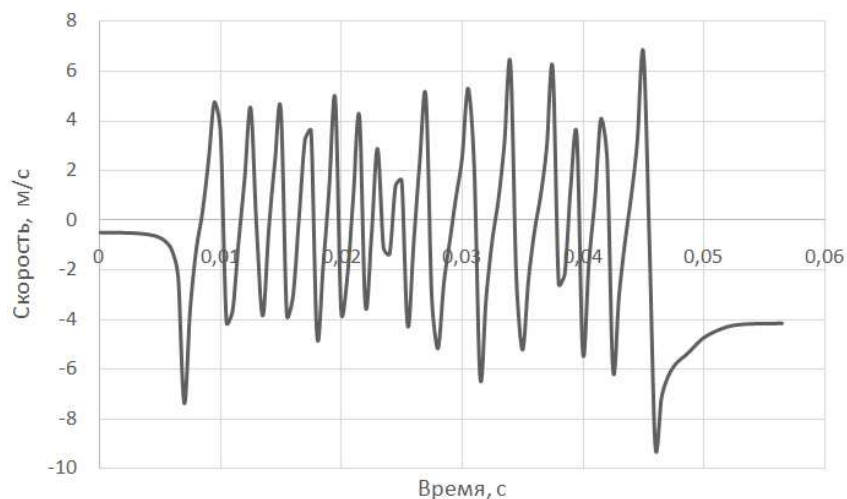


Рис. 3. График скорости дробы при колебательном движении внутри катушки

Подробнее этот процесс можно описать так, дробь с ускорением втягивается в катушку до того момента, пока не достигнет точки с наибольшей напряженностью магнитного поля, но после прохождения этой точки дробь не успевает замедлиться на столько, чтобы втянуться в катушку, так как градиент напряженности магнитного поля в этой части катушки меньше, чем в левой части катушки, а следовательно, и сила, которой катушка втягивает дробь. Сразу после преодоления точки с максимальным значением напряженности магнитного поля дробь, разогнанная до скорости 20 м/с, теряет значительную часть своей скорости и замедляется до 5 м/с, что можно видеть по графику скорости дробы (рис. 5).

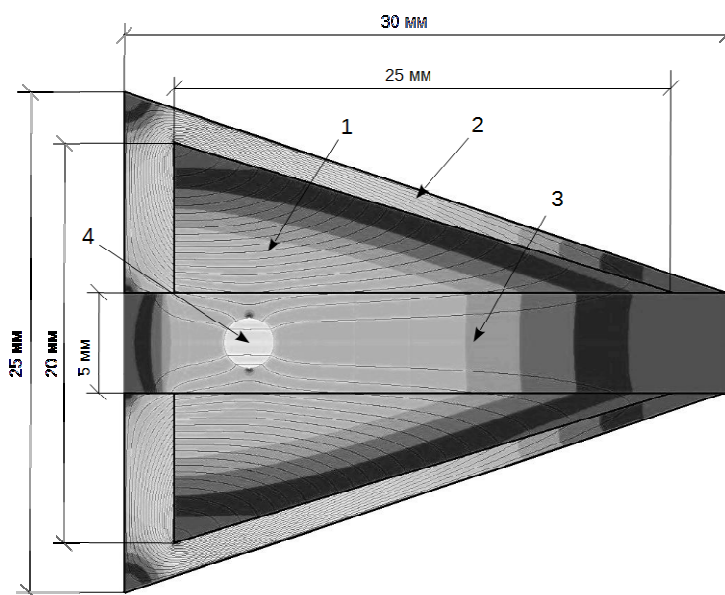


Рис. 4. Модель катушки с указанием геометрических размеров и картинной линией напряженности электромагнитного поля; 1 – обмотка; 2 – магнитопровод; 3 – ствол; 4 – дробь

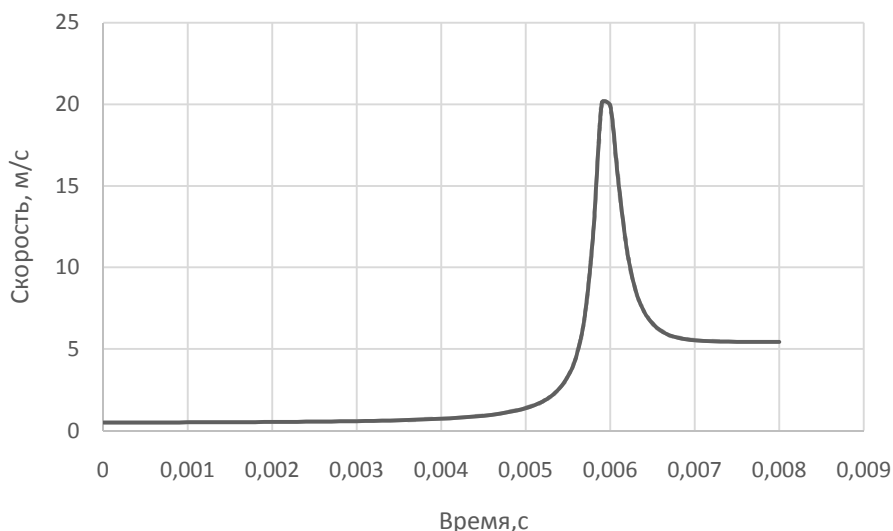


Рис. 5. График скорости дроби

В результате проведённых исследований подтверждено предположение о возможности использования постоянного тока для ускорения дроби, получена модель катушки индуктивности, позволяющая добиться необходимого результата. Несмотря на низкую скорость дроби на выходе из катушки, всего 5 м/с, важно подтверждение возможности использования разработанного принципа ускорения дроби для дальнейших исследований оптимальной формы катушки индуктивности, с целью получения скорости 80 м/с. Также существует возможность использовать несколько последовательно расположенных катушек индуктивности для ускорения дроби.

Список литературы

1. Байда Е.И. Теоретическая оценка возможной скорости разгона макротела ноступенчатым индукционно-динамическим ускорителем. // Вісник Національного технічного університету ХП. Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика. 2013. № 15 (988). С. 3-10.
2. Доля С.Н. Об ускорении магнитных диполей последовательностью токовых витков // Журн.техн. физики, 2014.Т. 84.Вып. 11. С. 117-120.
3. Мащенко А. И. Частотный линейный индукционный ускоритель с двумя разнополярными импульсами // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2013. Т. 323. № 2. С. 163-168.
4. Станкевич С. В. Расчет магнитных полей и токов в аксиально-симметричных системах индуктивно связанных подвижных проводников // Приклад.механика и техн. физика. 2009. Т. 50. № 1 (293). С. 18-24.

5. Сухачёв К.И., Сёмкин Н.Д. Анализ возможностей катушечного электромагнитного ускорителя для разгона ферромагнитных частиц // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2013. № 3-1 (41). С. 235-247.

6. Сухачёв К.И., Сёмкин Н.Д. Катушечный ускоритель твердых тел // Физика волновых процессов и радиотехн. системы. 2014. Т. 17. № 1. С. 83-91.

7. Сёмкин Н.Д., Сухачёв К.И., Дорофеев А.С. Методы и средства ускорения частиц естественного и техногенного происхождения // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2015. Т. 14. № 4. С. 171-191.

8. Сухачев К.И., Семкин Н.Д., Пияков А.В. Повышение эффективности резонансного электромагнитного ускорителя // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2013. Т. 16. № 4. С. 63-68.

9. Сухачёв К.И., Сёмкин Н.Д., Пияков А.В. Ускорители твердых тел // Физика волновых процессов и радиотехн. системы. 2014. Т. 17. № 2. С. 49-58.

10. Шевцов Г.А., Ющенко Л.В. Дробеструйные и дробемётные установки на основе ферромагнитного перемещения тел // Научно-техническому и социально-экономическому развитию Дальнего Востока России – инновации молодых: тез.докл.Межвузов. 73-й студен.науч.-практ. конф. Т 1. Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2015. 215 с.

11. Ющенко Л.В., Степанов Д.А., Чуклинов Е.С. О возможности перемещения ферромагнитных тел в некоторых технологических установках промышленных предприятий // Науч.-техн. и эконом.сотрудничество стран АТР в XXI веке. 2012. Т. 1. С. 115-118.

12. Оганесян А.Т., Григорян А. Х., Хачатрян Ш. Д. Влияние внешнего магнитопровода на магнитное поле обмоток прямоугольного и трапециевидного сечений // Актуал.пробл.гуманитар. и естествен.наук. 2015. № 12-2. С. 169-174.

13. Особенности обмотки трапециевидного сечения в электромагнитной системе/А.Т.Оганесян, А.Х.Григорян, Ш.Д.Хачатрян, Н.В. Апетян// Электротехника: сетевой электрон.науч. журн. 2015. Т. 2. № 2. С. 50-52.

Шевцов Георгий Александрович, асп., tertonov@ya.ru, Россия, Владивосток, Дальневосточный федеральный университет

*ANALYSIS OF INTERACTION OF FERROMAGNETIC FRACTURE WITH
INDUCTIVITY COIL WHILE WORKING ON A CONSTANT CURRENT*

G.A. Shevtsov

The article discusses the possibility of accelerating the ferromagnetic fraction through the time constant electromagnetic field of the inductors for use in shotblasting equipment. Investigated the possibility of the creation of accelerated flow fraction through the solenoid, fed by a constant current. An analysis of the mathematical modeling of the inductance coils of various shapes with the purpose of obtaining an asymmetric magnetic field inside the trunk and conclusions based on simulation results have been made.

Key words: solenoid, coil, accelerator, fraction, shot, shotblasting.

Shevtsov Georgy Alexandrovich, postgraduate, tertonov@ya.ru, Russia, Vladivostok, Far Eastern Federal University

УДК 621.316

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ КОНДЕНСАТОРНОЙ БАТАРЕИ УСТРОЙСТВА КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ПО ЭКОНОМИЧЕСКИМ КРИТЕРИЯМ

Д.В. Ишутинов, Е.Н. Малышев, Н.С. Сластихин, В.В. Рычков

Рассматриваются вопросы оптимального по капитальным затратам выбора алгоритма работы, количества ступеней и мощности минимальной ступени конденсаторной батареи для устройства компенсации реактивной мощности. Показано, что устройство компенсации алгоритмом работы 1:2:2и 1:2:4 тремя ступенями регулирования имеет наименьшую стоимость.

Ключевые слова: реактивная мощность, косинусный конденсатор, конденсаторная батарея, устройство компенсации, алгоритм работы, аппроксимация, минимум целевой функции.

Возросший интерес к решению вопросов энергосбережения и повышения энергоэффективности работы оборудования связан, в первую очередь, с экономическими аспектами использования электроэнергии во всех развивающихся отраслях промышленности.

Циркуляция РМ по элементам электрической сети, необходимая для нормальной работы электроустановок, вызывает значительную часть технологических потерь активной электроэнергии, а также просадки напряжения в точках присоединения потребителей электрической энергии к электрической сети. Среди известных способов компенсации реактивной мощности (РМ) достаточно эффективным для потребителей электроэнергии со сравнительно медленно изменяющейся реактивной нагрузкой является емкостная компенсация с помощью автоматических устройств компенсации реактивной мощности (УКРМ) [1, 2].

Оптимальный выбор мощности косинусных конденсаторов позволит снизить капитальные затраты на УКРМ и соответственно срок окупаемости. Известны выражения связывающие между собой мощность минимальной ступени $Q_{СТ}$ количество ступеней N конденсаторной батареи УКРМ для наиболее типичных алгоритмов работы[3]. Однако, как отмечено, данные выражения не позволяют однозначно определить параметры конденсаторной батареи(КБ) и они, как правило, выбирается интуитивно – на основании опыта проектирования УКРМ[4]. Оптимизировать количество ступеней и мощность минимальной ступени позволяет целевая функции вида

$$F(Q_{СТ}, N) = b_0 \cdot Q_{СТ} + b_1 \cdot N, \quad (1)$$

где b_0, b_1 – коэффициенты, зависящие от параметров КБ.

Очевидно, что от выбора коэффициентов целевой функции зависит точность получаемого оптимального решения. Авторами предлагается вычислять коэффициенты данной целевой функции следующим образом.

Коэффициент b_0 (руб./кВАр) определяется как суммарная стоимость ступени КБ ($C_{СТ}$), коммутационного аппарата (C_K) и силовых проводов ($C_{ПР}$), приведенная к мощности ступени КБ:

$$b_0 = f(C_{СТ}, C_K, C_{ПР}, Q) = \frac{C_{СТ} + C_K + C_{ПР}}{Q}. \quad (2)$$

В табл. 1 сведены результаты расчетов коэффициента b_0 для типичных значений мощности ступени конденсаторной батареи.

Таблица 1

Расчет коэффициента b_0

Q , кВАр	Цена изделия, руб.			Относительная цена изделия, руб./кВАр			Стоимость, руб./кВАр
	$C_{СТ}$	C_K	$C_{ПР}$	$C^*_{СТ}$	C^*_K	$C^*_{ПР}$	
1	910	825	32,97	910	825	32,97	1768
1,5	936	825	32,97	624	550	21,98	1196
2,5	1105	825	32,97	442	330	13,19	785
5	1304	825	32,97	261	165	6,59	432
6,25	1400	825	48,97	224	132	7,84	364
7,5	1532	825	48,97	204	110	6,53	321
10	1599	825	79,97	160	83	8,00	250
12,5	1785	1114	79,97	143	89	6,40	238
15	2142	1188	127,97	143	79	8,53	231
20	2572	1489	127,97	129	74	6,40	209
25	2887	1666	232,97	115	67	9,32	191
30	3866	2130	232,97	129	71	7,77	208
33,3	4146	2821	232,97	125	85	7,00	216

Окончание табл. 1

Q, кВАр	Цена изделия, руб			Относительная цена изделия, руб/кВАр			Стоимость, руб/кВАр
	C_{CT}	C_K	C_{PP}	C^*_{CT}	C^*_K	C^*_{PP}	
40	5107	1950	276,97	128	49	6,92	183
50	6242	3530	276,97	125	71	5,54	201
67	8292	3658	465,97	124	55	6,95	185
80	10215	5400	465,97	128	68	5,82	201
100	12484	7059	766,97	125	71	7,67	203
120	15465	5850	766,98	129	49	6,39	184

Таким образом (табл. 1), b_0 является функцией мощности минимальной ступени КБ Q_{CT} . Аппроксимируя значения b_0 гиперболической функции первого порядка, получим

$$b_0(Q_{CT}) = 142 + \frac{1598}{Q_{CT}}. \quad (3)$$

Коэффициент b_1 – суммарная относительная стоимость монтажных работ косинусного конденсатора (C_{M_CT}), конденсаторного контактора (C_{M_K}) и силовых проводов (C_{M_PP}), приведенная к количеству ступеней (N) КБ:

$$b_1 = f(C_{M_CT}, C_{M_K}, C_{M_PP}) = \frac{C_{M_CT} + C_{M_K} + C_{M_PP}}{N}. \quad (4)$$

Единая стоимость (цена) указанных электромонтажных работ утверждена Постановлением Правительства Кировской области [5]. Сметная стоимость работ по монтажу силового оборудования (без учета материалов) в зависимости от мощности косинусного конденсатора согласно стоимости видов работ для силовой части УКРМ сведена в табл. 2.

Таблица 2

Расчет коэффициента b_1

Q, кВАр	Сечение проводов, мм ²	Контактор. Цена работ, руб.		Конденсатор. Цена работ, руб.			Итого
		Монтаж	Разводка	Монтаж	Разводка	Пайка	
1	2	3	4	5	6	7	8
1,0	1,5	456,01	504,06	456,01	204,72	128,67	1749,47
1,5	1,5	456,01	504,06	456,01	204,72	128,67	1749,47
2,5	1,5	456,01	504,06	456,01	204,72	128,67	1749,47
5,0	1,5	456,01	504,06	456,01	204,72	128,67	1749,47
6,3	2,5	456,01	504,06	456,01	204,72	128,67	1749,47
7,5	2,5	456,01	504,06	456,01	204,72	128,67	1749,47

1	2	3	4	5	6	7	8
10,0	4	456,01	504,06	456,01	204,72	128,67	1749,47
12,5	4	891,01	504,06	456,01	204,72	128,67	2184,47
15,0	6	891,01	504,06	456,01	204,72	128,67	2184,47
20,0	6	891,01	504,06	456,01	204,72	128,67	2184,47
25,0	10	891,01	504,06	456,01	204,72	128,67	2184,47
30,0	10	1206,79	504,06	456,01	204,72	128,67	2500,25
33,3	10	1206,79	504,06	456,01	204,72	128,67	2500,25
40,0	16	1206,79	944,88	456,01	425,13	128,67	3161,48
50,0	16	1206,79	944,88	456,01	425,13	128,67	3161,48
67,0	25	1206,79	1046,70	456,01	476,04	128,67	3314,21
80,0	25	1206,79	1046,70	456,01	476,04	128,67	3314,21
100,0	35	1206,79	1046,70	456,01	476,04	128,67	3314,21
120,0	35	1206,79	1046,70	456,01	476,04	128,67	3314,21

Анализ табл. 2 показывает, что коэффициент b_1 является функцией мощности конденсаторной установки Q_{KV} . В результате исследований установлено, что данная зависимость достаточно точно аппроксимируется линейной функцией:

$$b_1(Q_{KV}) = 13 \cdot Q_{KV} + 1186. \quad (5)$$

Для определения минимума целевой функции (1) при наличии ограничений, связывающих Q_{CTCN} , полученных в виде равенства нулю $g(Q_{CT}, N) = 0$ необходимо решить классическую задачу Лагранжа на условный экстремум. Решение данной задачи показано в [6].

Применение целевой функции для поиска оптимальных параметров УКРМ рассмотрено на примере деревообрабатывающего предприятия ООО «Алмис» (г. Слободской, Кировской обл.). Основные характеристики трансформаторных подстанций: установленная мощность трансформаторов S_{TP} , коэффициент загрузки k_3 , средневзвешенное значение $\cos\varphi_{CP}$, среднее значение реактивной мощности Q_{CP} и эффективное значение [7] реактивной мощности УКРМ (Q_{KV}), представлены в табл. 3.

Таблица 3
Характеристики трансформаторных подстанций

Предприятие	S_{TP} , кВА	k_3	$\cos\varphi_{CP}$	Q_{CP} , кВАр	Q_{KV} , кВАр	
Алмис	ТП4-1	400	0,43	0,53	145	125
	ТП4-2	400	0,45	0,72	125	100
	ТП5	630	0,56	0,63	273	200

В табл. 4 указаны, определенные согласно изложенной выше методике[6], параметры конденсаторной батареи и значения целевой функции.

Таблица 4

Расчет оптимального числа и мощности минимальной ступени конденсаторной батареи

Алгоритм	Требуемая мощность КБ, кВАр	Оптимальное значение		Рекомендуемое значение		Расчетная мощность КБ, кВАр	Значение целевой функции, руб.
		N	$Q_{ст}$, кВАр	N	$Q_{ст}$, кВАр		
1:1:1...	100	2,4	41,8	2	50	100	13670
				3	33,3	100	13780
				4	25	100	15090
1:2:2...	100	2,2	29,6	2	33,3	100	11300
				3	20	100	11900
				4	15	105	13670
1:2:4...	100	2,5	20,9	2	33,3	100	11300
				3	15	105	11190
				4	7,5	112,5	12610
1:1:1...	125	2,5	49,7	2	62,5	125	16090
				3	50	150	17130
				4	33,3	133,2	17570
1:2:2...	125	2,3	35,2	2	50	150	14320
				3	25	125	13580
				4	20	140	15680
1:2:4...	125	2,6	23,9	2	50	150	14320
				3	20	140	12870
				4	10	150	14260
1:1:1...	200	2,7	73,0	2	100	200	23370
				3	67	201	22470
				4	50	200	23840
1:2:2...	200	2,4	51,6	2	67	201	18680
				3	40	200	18640
				4	30	210	21000
1:2:4...	200	2,8	33	2	67	201	18680
				3	30	210	17220
				4	15	225	18870

Проведенные авторами исследования показывают, что и для других предприятий оптимальными по капитальным затратам в большинстве случаев являются алгоритмы работы УКРМ 1:2:2... и 1:2:4... с числом ступеней регулирования равным трем.

Окончательно установить оптимальный алгоритм работы, обеспечивающий требуемую точность регулирования реактивной мощности, авторами предлагается с помощью математической модели системы электрообеспечения с устройством компенсации реактивной мощности.

Список литературы

1. Иштутинов Д.В., Охалкин С.И., Присмотров Н.И. Энергосбережение и средства его реализации на предприятиях лесного комплекса // Тр. VII Междунар. (XVII Всерос.) конф. по автоматизир. Электроприводу / Иванов. гос. энергет. ун-т имени В.И. Ленина. Иваново, 2012. 708 с.

2. Присмотров Н.И., Охалкин С.И., Иштутинов Д.В. Средства реализации энергосберегающих мероприятий на деревообрабатывающих предприятиях Кировской области // Сб. тр. по материалам Междунар. заоч. науч.-практ. конф. «Наука и образование в XXI веке». М: «АР-Консалт», 2013.

4. Выбор элементов и алгоритмов работы устройств повышения качества энергопотребления / Д.В. Иштутинов, С.И. Охалкин, Н.И. Присмотров, М.А. Мищихин // Тр. VIII Междунар. (XIX Всерос.) конф. по автоматизир. электроприводу АЭП-2014: в 2 т. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2014.

5. Постановление Правительства Кировской области от 29.01.14 №245/41 «О территориальных сметных нормативах для строительства на территории Кировской области».

6. Выбор параметров конденсаторной батареи устройства компенсации реактивной мощности / Д.В. Иштутинов, Е.Н. Малышев, В.С. Хорошавин, М.А. Мищихин // Тр. IX Междунар. (XX Всерос.) науч.-техн. конф. по автоматизир. электроприводу АЭП-2016. С. 42 - 43.

7. Приказ Минпромэнерго РФ от 22 февраля 2007 г. №49. Порядок расчета значений соотношения потребления активной и реактивной мощности для отдельных энергопринимающих устройств (групп энергопринимающих устройств) потребителей электрической энергии, применяемых для определения обязательств сторон в договорах об оказании услуг по передаче электрической энергии.

Иштутинов Дмитрий Владимирович, ст. преподаватель, ishutinov@vyatsu.ru, Россия, Киров, Вятский государственный университет,

Малышев Евгений Николаевич, канд. техн. наук, доц., malyshev@vyatsu.ru, Россия, Киров, Вятский государственный университет,

Сластихин Николай Сергеевич, ст. преподаватель, favt_slastihin@vyatsu.ru, Россия, Киров, Вятский государственный университет,

Рычков Владимир Викентьевич, канд. физ.-мат. наук, доц., malyshev@vyatsu.ru, Россия, Киров, Вятский государственный университет

*CHOICE OF PARAMETRES OF THE CAPACITOR BANK
REACTIVE POWER COMPENSATION DEVICES BY ECONOMIC CRITERIA*

D.V.Ishutinov, E.N.Malyshev, N.S.Slastihin, V.V.Rychkov

Questions optimum on capital coast of choice of algorithm of work, quantity of steps and power of the minimum step of the capacitor bank for the reactive power compensation device are considered. It is shown that the device of compensation with algorithm of work 1:2:2 and 1:2:4 and three steps of regulating has the least cost.

Key words: a reactive power, the compensation capacitor, the capacitor bank, compensation device, algorithm of work, approximation, a criterion function minimum.

Ishutinov Dmitriy Vladimirovich, senior lecturer, ishutinov@vyatsu.ru, Russia, Kirov, Vyatka State University,

Malyshev Evgeny Nikolaevich, candidate of technical sciences, docent, malyshev@vyatsu.ru, Russia, Kirov, Vyatka State University,

Slastihin Nikolay Sergeevich, senior lecturer, favt_slastihin@vyatsu.ru, Russia, Kirov, Vyatka State University,

Rychkov Vladimir Vikentievich, candidate of physical and mathematic sciences, docent, rychkov@vyatsu.ru, Russia, Kirov, Vyatka State University

УДК 621.3.01; 621.3.048

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАСЛА НА РАСТИТЕЛЬНОЙ ОСНОВЕ

Г.А. Муратаева, И.А. Муратаев

Предложены математическая модель диэлектрической жидкости на растительной основе и способ определения параметров модели. Представлено аналитическое выражение для определения тангенса угла диэлектрических потерь по удельным параметрам математической модели диэлектрической жидкости. Определены зависимости удельных параметров модели от температуры.

Ключевые слова: математическая модель, диэлектрическая жидкость, диэлектрическая проницаемость, масло на растительной основе, термодиэлектрическая характеристика.

Важную роль в диагностике электроэнергетического оборудования, такого, как силовые трансформаторы, играет контроль диэлектрических свойств электроизоляционной жидкости. В настоящее время в качестве электроизоляционной жидкости используются нефтяные электроизоляционные масла, которым присущ недостаток, связанный с тем, что вследствие их химического состава, они обладают весьма низкой биологической разлагаемостью, по этой причине утечка указанных масел может нанести

вред экологической системе. Кроме того, минеральные масла обладают высокой теплотой сгорания и имеют весьма низкую температуру воспламенения, в результате при их использовании имеется значительный риск пожара или взрыва. Альтернативой нефтяным электроизоляционным маслам являются масла на растительной основе. Они обладают хорошими изоляционными свойствами и полностью биоразлагаемы [1, 5]. Для анализа и контроля диэлектрических свойств масла на растительной основе требуется математическое описание его характеристик.

Целью исследования являлось создание математической модели диэлектрической жидкости для контроля состояния изоляционной жидкости на растительной основе.

Исследование выполнялось с использованием подсолнечного масла высшего сорта по ГОСТ 1129-2013, которое подвергалось нагреванию до 120 °С без воздействия света.

В процессе нагревания измерялась зависимость тангенса угла диэлектрических потерь и диэлектрическая проницаемость образца от температуры - термодиэлектрическая характеристика.

Измерение термодиэлектрических характеристик проводилось в стандартной измерительной ячейке (ГОСТ 6581-75) при изменении частоты питающего напряжения в диапазоне от 10 до 1000 Гц с помощью высоковольтного источника питания *Trek Model 677B*.

Измеряемые значения тока, напряжения и температуры с помощью системы сбора данных *L-Card E-502* передавались в персональный компьютер, где выполнялся расчет диэлектрической проницаемости, удельного объемного сопротивления, тангенса угла диэлектрических потерь масла и определялись параметры модели диэлектрической жидкости [2].

Диэлектрические потери в масле на растительной основе складываются из двух составляющих: потери от токов утечки и потери от дипольной поляризации. Данные потери вызваны протеканием активного тока и носят необратимый характер. Реактивный ток связан с обратимым поглощением энергии диэлектриком и определяется диэлектрической проницаемостью масла. Следовательно, математическая модель диэлектрической жидкости может быть представлена в виде последовательно включенной емкости C и активного сопротивления поляризации R_0 , шунтируемых активным сопротивлением электропроводности R_2 . Электрическая схема замещения диэлектрической жидкости представлена на рис. 1.

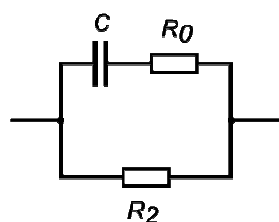


Рис. 1. Модель диэлектрической жидкости

Параметры модели определялись во время измерения термодиэлектрической характеристики при изменении частоты питающего напряжения. Измеренные значения тангенса угла диэлектрических потерь образуют систему уравнений вида

$$\begin{aligned} \frac{1}{\omega_1 C R_2} + \frac{\omega_1 C^2 R_0 (R_2 + R_0)}{C R_2} &= \operatorname{tg} \delta_{\omega_1}; \\ \frac{1}{\omega_2 C R_2} + \frac{\omega_2 C^2 R_0 (R_2 + R_0)}{C R_2} &= \operatorname{tg} \delta_{\omega_2}; \\ \frac{1}{\omega_n C R_2} + \frac{\omega_n C^2 R_0 (R_2 + R_0)}{C R_2} &= \operatorname{tg} \delta_{\omega_n}, \end{aligned}$$

где $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ – угловая частота, рад/с; f – частота питающего напряжения, Гц; $\operatorname{tg} \delta_{\omega_1}$, $\operatorname{tg} \delta_{\omega_2}$, $\operatorname{tg} \delta_{\omega_n}$ – измеренный тангенс угла диэлектрических потерь при заданной частоте питающего напряжения; C – емкость ячейки с диэлектриком, Ф; R_0 – электрическое сопротивление поляризации, Ом; R_2 – электрическое сопротивление электропроводности, Ом.

Решая полученную систему уравнений методом Левенберга—Марквардта относительно неизвестных C , R_0 , R_2 , определяют параметры модели диэлектрической жидкости [3].

Полученные значения емкости и электрического сопротивления диэлектрика пересчитываются в значения диэлектрической проницаемости ε , удельное объемное электрическое сопротивление поляризации ρ_0 и удельное объемное электрическое сопротивление электропроводности ρ_2 по следующим формулам [4]:

$$\begin{aligned} \varepsilon &= C / C_0; \\ \rho_0 &= 0,113 \cdot C_0 \cdot R_0 \cdot 10^{12} \text{ Ом} \cdot \text{м}; \\ \rho_2 &= 0,113 \cdot C_0 \cdot R_2 \cdot 10^{12} \text{ Ом} \cdot \text{м}, \end{aligned} \quad (1)$$

где C_0 – емкость пустой ячейки, Ф.

Переход к диэлектрической проницаемости и удельным объемным электрическим сопротивлениям позволяет исключить зависимость определяемых характеристик диэлектрика от параметров измерительной ячейки. Вычисленные значения ε , ρ_0 и ρ_2 используются как удельные параметры модели диэлектрической жидкости.

На рис. 2 - 4 показаны удельные параметры модели диэлектрической жидкости, определенные при измерении термодиэлектрических характеристик масла на растительной основе.

Диэлектрическая проницаемость масла на растительной основе под действием температуры уменьшается из-за объемного расширения жидкости и усиления хаотического теплового движения, которое мешает упорядочению расположения молекул (рис. 2).

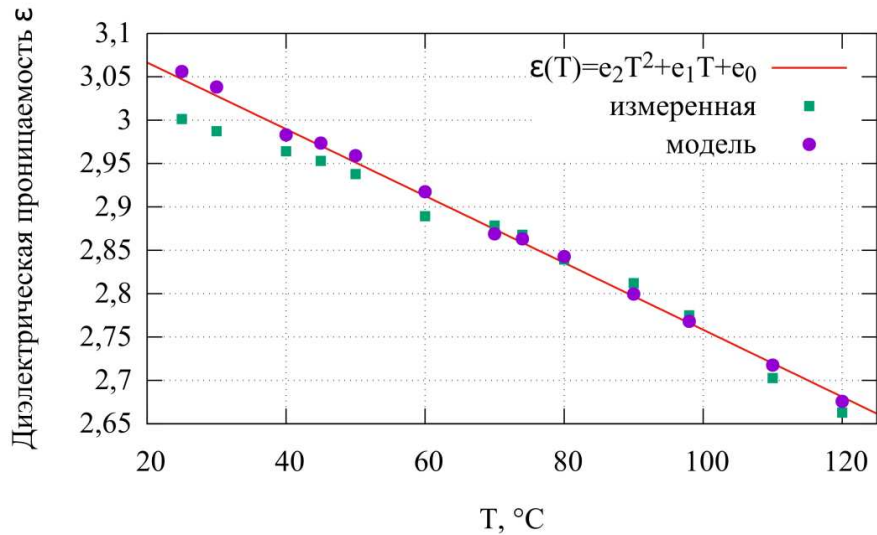


Рис. 2. Термодиэлектрическая характеристика диэлектрической проницаемости модели масла на растительной основе

Рост удельного объемного электрического сопротивления поляризации ρ_0 при увеличении температуры связан с увеличением дипольных моментов полярных групп атомов из-за теплового расширения и уменьшения вязкости масла (рис. 3). Это приводит к возрастанию необратимого поглощения энергии на ориентацию диполей электрическим полем.

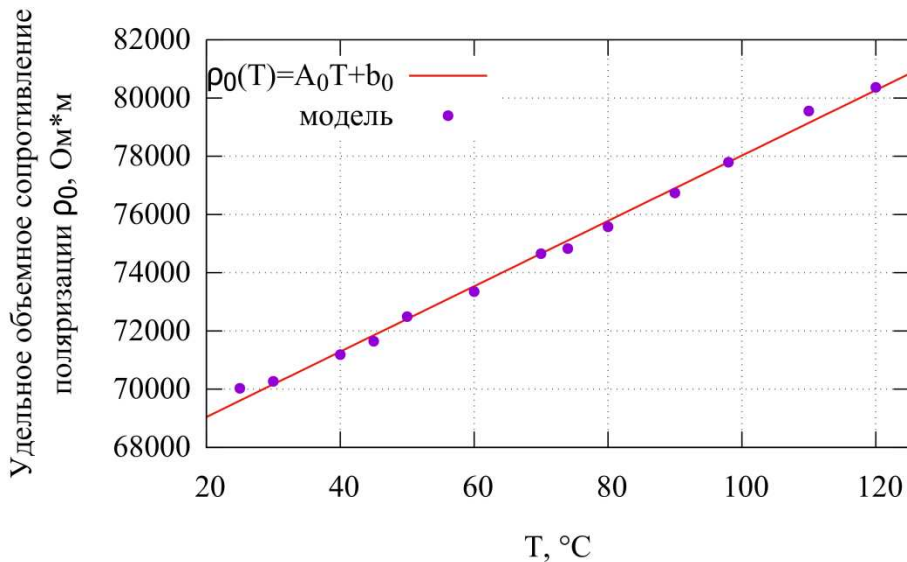


Рис. 3. Зависимость удельного объемного сопротивления поляризации модели масла на растительной основе от температуры

Удельное объемное электрическое сопротивление электропроводности ρ_2 при увеличении температуры уменьшается в связи с усилением диссоциации молекул и увеличением подвижности ионов (рис. 4).

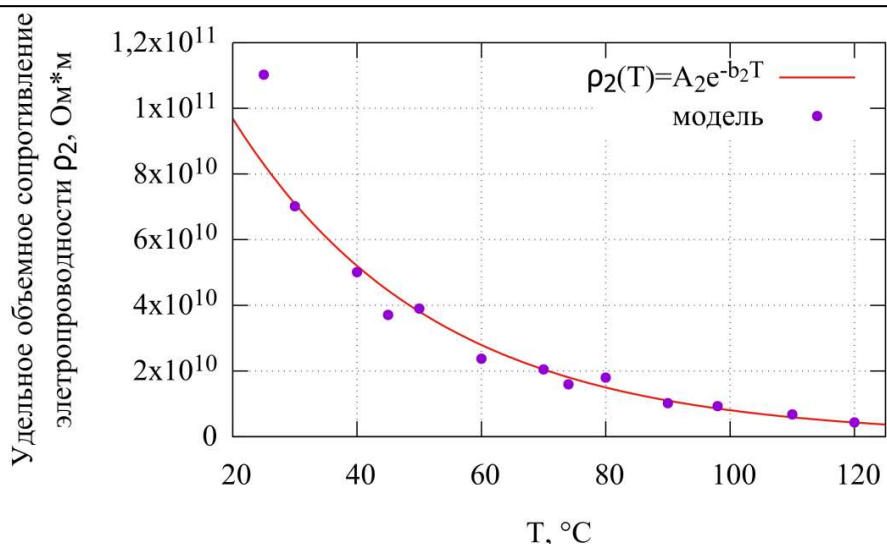


Рис. 4. Зависимость удельного объемного сопротивления электропроводности модели масла на растительной основе от температуры

В табл. 1 представлены удельные параметры математической модели свежего масла на растительной основе при температуре 25 °С.

Таблица 1

Удельные параметры модели свежего масла на растительной основе

ϵ	$\rho_0, \text{Ом}\cdot\text{м}$	$\rho_2, \text{МОм}\cdot\text{м}$
3,056	70027,26	110226,131

Зависимость удельных параметров математической модели свежего масла от температуры в диапазоне 20-120 °С описывается выражениями

$$\begin{aligned}
 \epsilon(T) &= e_2 \cdot T^2 + e_1 \cdot T + e_0; \\
 \rho_0(T) &= A_0 \cdot T + b_0; \\
 \rho_2(T) &= A_2 \cdot e^{-b_2 \cdot T},
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

где T – температура, °С; e_2, e_1, e_0 – коэффициенты аппроксимации зависимости диэлектрической проницаемости от температуры; A_0, b_0 – коэффициенты аппроксимации зависимости удельного объемного сопротивления поляризации от температуры; A_2, b_2 – коэффициенты аппроксимации зависимости удельного объемного сопротивления электропроводности от температуры.

Коэффициенты аппроксимации зависимостей параметров модели от температуры представлены в табл. 2.

Таблица 2

Коэффициенты аппроксимации температурных зависимостей

Параметр	Значение
e_2	$-1,776 \cdot 10^{-7}$
e_1	$-3,829 \cdot 10^{-3}$
e_0	3,143
A_0	112,225
b_0	66799,757
A_2	180437511852,59
b_2	0,031

Используя значения удельных параметров модели диэлектрической жидкости, можно вычислить тангенс угла диэлектрических потерь по следующей формуле:

$$\operatorname{tg}\delta = \left(\frac{0,113 \cdot 10^{12}}{\omega \epsilon \rho_2} + \frac{\omega \epsilon \rho_0 (\rho_0 + \rho_2)}{0,113 \cdot 10^{12} \cdot \rho_2} \right) \cdot 100 \quad (3)$$

где ϵ , ρ_0 , ρ_2 – параметры модели диэлектрической жидкости; ω – угловая частота, рад/сек.

На рис. 5 представлены термодиэлектрические характеристики тангенса угла диэлектрических потерь, полученные опытным путем и рассчитанные по удельным параметрам модели (1), (3) и с использованием зависимостей удельных параметров математической модели от температуры (2), (3). Коэффициент квадрата корреляции между рассчитанными параметрами модели и измеренными значениями для диэлектрической проницаемости равен 0,978, для тангенса угла диэлектрических потерь – 0,986.

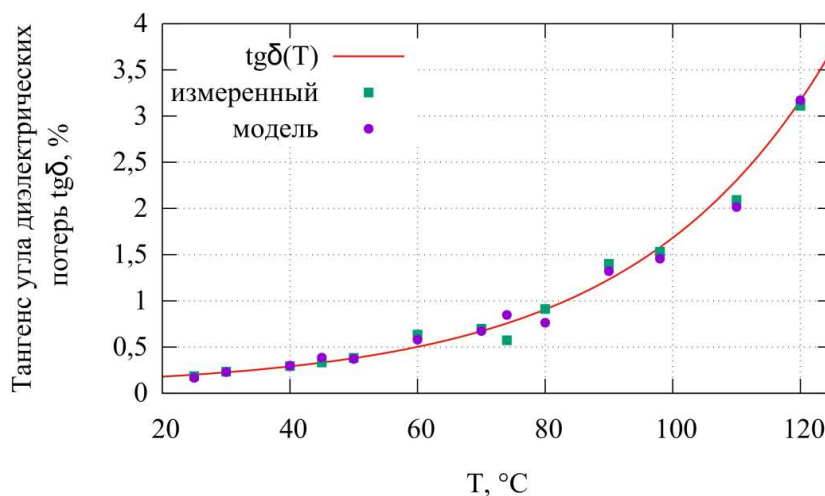


Рис. 5. Термодиэлектрические характеристики тангенса угла диэлектрических потерь масла на растительной основе

Из полученных результатов видно, что диэлектрическая проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь модели отличается незначительно от значений диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь масла, которые были измерены согласно ГОСТ 6581-75. Сумма квадратов разностей для диэлектрической проницаемости равна 0,008, для тангенса угла диэлектрических потерь – 0,00126.

Предложенная математическая модель отражает основные диэлектрические свойства масла на растительной основе. Удельные параметры модели могут быть использованы в качестве диагностических критериев оценки качества диэлектрической жидкости.

Предложена математическая модель диэлектрической жидкости на растительной основе, которая описывается тремя параметрами: диэлектрической проницаемостью ϵ , удельным объемным электрическим сопротивлением поляризации ρ_0 и удельным объемным электрическим сопротивлением электропроводности ρ_2 . Приведена формула для расчета тангенса угла диэлектрических потерь по данным удельных параметров модели. Получены зависимости удельных параметров модели от температуры. Проведен корреляционный анализ удельных параметров модели и измеряемых диэлектрических величин, который показал идентичность результатов.

Описанные удельные параметры модели могут быть использованы как диагностические показатели качества масла на растительной основе, а также при конструировании маслонаполненного электротехнического оборудования. Оценка состояния масла на растительной основе по данным параметрам позволяет получить более объективную информацию о состоянии электроизоляционной жидкости.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-38-00648 мол_а.

Список литературы

1. Semančík P., Cimbala R., Kolcunová I. Dielectric Analysis of Natural Oils // Acta of Electrotechnica et Informatica. Volume 7. Number 3. September 2007.
2. Муратаева Г.А., Муратаев И.А., Куракина О.Е. Влияние циклического теплового старения на диэлектрические характеристики масел на растительной основе// Actualscience. 2017. Т.2. №11. С. 151-153.
3. Madsen K., Nielsen H.B., Tingleff O. Methods for non-linear least squares problems // Informatics and Mathematical Modelling Technical University of Denmark, 2004.
4. ГОСТ 6581-75 (СТ СЭВ 3166-81) Материалы электроизоляционные жидкие. Методы электрических испытаний. М.: ИПК Изд-во стандартов, 1998. 13 с.

5. Oommen T.V. Vegetable Oils for Liquid-Filled Transformers // IEEE Electrical Insulation Magazine, 2002. Vol. 18. No. 1. P. 7-11.

Муратаева Галия Амировна, канд. техн. наук, доц., esis00@mail.ru, Россия, Казань, Казанский государственный энергетический университет,

Муратаев Ибрагим Амирович, канд. техн. наук, доц., boxesis@yandex.ru, Россия, Казань, Казанский государственный энергетический университет

**MATHEMATICAL MODEL OF DIELECTRIC CHARACTERISTICS
OF NATURAL OIL**

G.A. Murataeva, I.A. Murataev

The paper describes a mathematical model of a dielectric fluid on a natural basis and a method for determining parameters of the model. The analytical expression for determining the tangent of the loss angle by the specific parameters of the mathematical model of the dielectric liquid is presented. The dependence of the specific parameters of the model on the temperature is determined.

Key words: mathematical model, dielectric fluid, dielectric constant, natural oil, thermo-dielectric curve.

Murataeva Galiya Amirovna, candidate of technical sciences, docent, esis00@mail.ru, Russia, Kazan, Kazan State Power Engineering University,

Murataev Ibragim Amirovich, candidate of technical sciences, docent, boxesis@yandex.ru, Russia, Kazan, Kazan State Power Engineering University

УДК 621.313

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СТАНЦИИ ПЕРВОГО ПОДЪЕМА

Ш.Т. Дадабаев

Для исследования режимов работы насосной станции необходимы математические модели, которые должны учитывать все части и параметры станции. Для математического описания технологических процессов оросительной станции необходимо создание структурной схемы объекта, которая, в свою очередь, требует составления уравнений математической модели. В результате исследования была создана базовая структурная схема насосной станции, а также разработана математическая модель регулирования производительности насосов путем отключения-включения агрегатов оросительной станции.

Ключевые слова: насосная станция, математическая модель, структурная схема, площадь резервуара, насосный агрегат.

Оросительные насосные станции первого подъема обычно имеют большую производительность и тем самым большие мощности насосных агрегатов. В данной статье объектом исследования принята насосная станция первого подъема АНС-1, которая расположена в Аштском районе Согдийской области Республики Таджикистан [4]. В АНС-1 установлены четыре насосных агрегата серии 1200В-6,3/100-А с мощностью электродвигателей каждой по 8 МВт [3, 5]. В АНС-1 регулирование подачи насосных агрегатов выполняется путем включения или отключения одного из агрегатов станции. Исследуя режимы работы насосной станции АНС-1, необходимо учитывать надежность работы насосных агрегатов, для чего необходимо свести к минимуму частые пуски насосных агрегатов. Однако в насосной станции АНС-1 расход воды носит случайный характер, который зависит от различных факторов и потому подача воды не регулируется. При избытке воды на втором подъеме отключают один из насосных агрегатов в насосной станции первого подъема.

Для широкого исследования режимов работы насосной станции необходимо разработать математическую модель насосной станции, которая должна состоять из водозабора (река), насосной станции первого подъема и резервуара воды [2]. Для математического описания технологических процессов АНС-1 необходимо создание структурной схемы объекта, которая, в свою очередь, требует составления уравнений математической модели [1, 2].

Работу нерегулируемого насоса можно выразить следующим уравнением

$$H = H_0 - R_{\text{вн}} Q^2, \quad (1)$$

где $R_{вн}$ – внутреннее сопротивление насоса.

В линии насоса ещё есть дополнительные сопротивления (R_1 и R_2), и с учетом этого уравнения (1)

$$H' = H_0 - (R_{вн} + R_1 + R_2) Q^2 = H_0 - R_{\Sigma} Q^2, \quad (2)$$

где H' – напор в трубопроводе; H_0 – напор насоса при $Q = 0$, (взяты из Q-H характеристики насоса); R_1 – сопротивление всасывающего трубопровода; R_2 – сопротивление напорного трубопровода.

Совместную работу четырех нерегулируемых насосов можно описать уравнением

$$Q_{\Sigma} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = 4 \sqrt{\frac{H_0 - H'}{R_{\Sigma}^2}}. \quad (3)$$

Можно принять объем воды, поступающей в резервуар (P) 2-го подъема из АНС-1,

$$Q_P = Q_{\Sigma}, \quad (4)$$

где Q_{Σ} – суммарный объем подачи воды насосной станции.

Пополнение резервуара 2-го подъема можно описать уравнением [1,2].

$$\Delta h_P = \frac{Q_P - Q_{ПАСХ}}{S_P} \cdot t, \quad (5)$$

где Q_P – объем поступающей воды, в резервуар; $Q_{ПАСХ}$ – подача воды к потребителю; S_P – площадь резервуара 2-го подъема.

Уравнение (5) преобразуем в интегральную форму, затем в операторную форму:

$$\Delta h_P(t) = \frac{1}{S_P} \int (Q_P - Q_{ПАСХ}) dt; \quad (6)$$

$$\Delta h_P(p) = \frac{Q_P - Q_{ПАСХ}}{S_P \cdot p}. \quad (7)$$

В соответствии с математическим описанием параметров насосной станции и (1) - (7) составлена базовая структурная схема оросительной насосной станции, которая представлена на рис. 1.

В данной модели блок 1 описывает работу насосной станции 1-го подъема, а блок 2 описывает резервуар (P), который станция должна снабжать водой. Данная структурная схема учитывает количество параллельных ветвей трубопроводов, диаметр трубопроводов, коэффициенты местных сопротивлений и гидравлического трения [1, 2]. Составленная структурная схема будет основой для разработки математической модели, которая позволит сделать анализ различных способов регулирования подачи при работе насосной станции 1-го подъема.

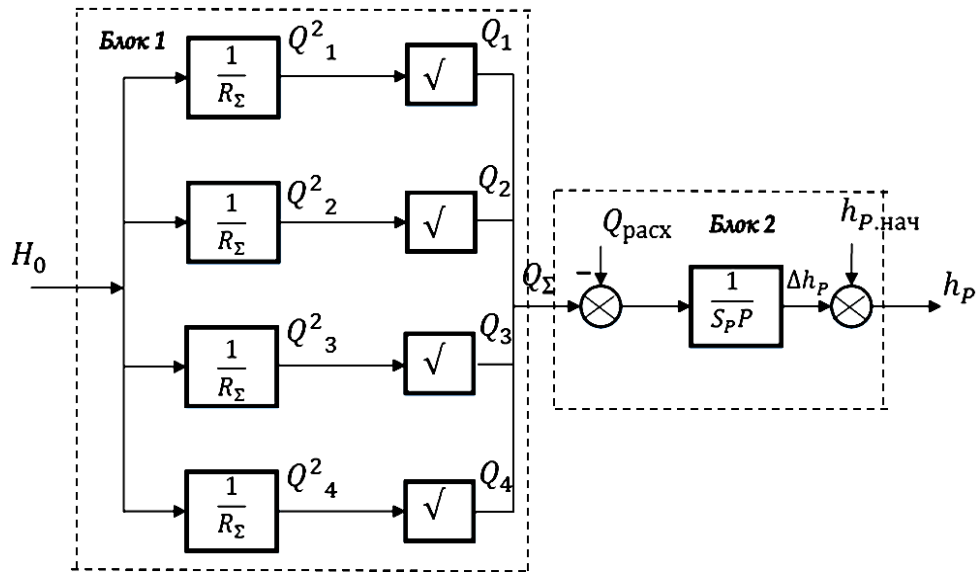


Рис. 1. Базовая структурная схема оросительной насосной станции 1-го подъёма АНС-1

По правилам регулирования подачи насосных агрегатов путем включения-отключения насосов один из насосов отключают, если уровень воды повысится от заданных значений, если уровень воды понизится, то включают один из агрегатов. В данной системе регулирования по сигналу датчиков уровня воды осуществляется включение-отключение насосных агрегатов.

Для разработки модели данной системы регулирования используем базовую структурную схему (см. рис. 1), куда добавляем внешний контур для подачи сигнала уровней воды в резервуаре 2-го подъема. В результате разработанная модель будет иметь вид, показанный на рис. 2.

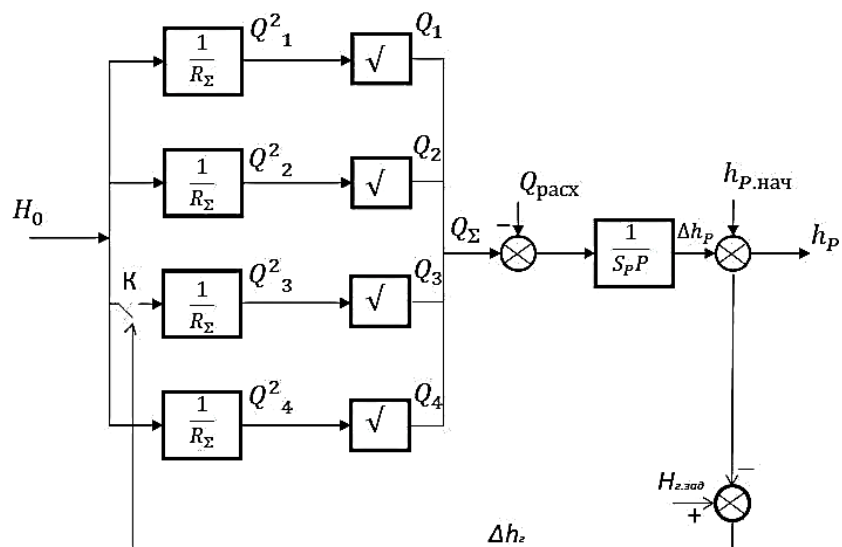


Рис. 2. Структурная схема модели системы регулирования путем включения-отключения насосов

В данной модели приведены следующие параметры: h_2 – реальный геодезический уровень воды; $H_{2,зад}$ – заданный геодезический уровень воды; h_p – высота резервуара; Q_3 – подача воды включаемого-отключаемого насоса; Q_Σ – суммарная подача насосов 1-го подъема.

Такой режим работы для электродвигателей насосов оросительной насосной станции вполне благоприятен, так как в оросительных станциях нагрузка обычно остается постоянной и частые пуски электродвигателей мало наблюдаются. По паспорту вертикального синхронного электродвигателя ВДС2-325/69-16, который используется в АНС-1, общее количество пусков в год не должно превышать 160-200. Однако в насосной станции АНС-1 средний годовой пуск насосных агрегатов иногда может достигать в два раза больше от допустимых значений, что негативно влияет на технический ресурс электрооборудования станций. Другими значимыми негативными последствиями от частых пусков насосных агрегатов являются:

- износ коммутационной аппаратуры и привода запорной арматуры;
- износ механических частей электродвигателей и запорной арматуры насоса;
- сокращение межремонтного периода электродвигателей и запорной арматуры.

В результате исследования было составлена базовая структурная схема насосной станции, по которой была разработана математическая модель регулирования производительности насосов путем отключения-включения агрегатов. Данная математическая модель послужит основой для дальнейшего компьютерного моделирования, результатом чего будут технологические процессы насосной станции при различных способах регулирования, в данном случае путем включения-отключения агрегатов. В результате будет возможен подробный анализ различных способов регулирования подачи, их эффективности и недостатков в оросительных насосных станциях 1-го подъема.

Список литературы

1. Горюнов А.Н. Исследование эффективности применения регулируемого электропривода насосных агрегатов первого подъема: дис. ... канд. техн. наук. М., 2013. 139 с.
2. Дадабаев Ш.Т. Математическая модель оросительной насосной станции первого подъема // Вестн. Оренбург. гос. ун-та. Оренбург, 2015. Вып. 03(178). С. 239-242.
3. Дадабаев Ш.Т. Особенности механических характеристик электроприводов с вентиляторным характером нагрузки. М.: Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. 2013. №11. С. 29-34.

4. Дадабаев Ш.Т. Перспективы внедрения регулируемых электроприводов в насосных агрегатах большой мощности // Энергетик.2015. №7.С. 31-33.

5. Дадабаев Ш.Т., Ларионов В.Н. Исследования применения энергоэффективных способов управления в электроприводах с вентиляторной нагрузкой //Вестн. ТГУ.2014.№4.С. 56-59.

Дадабаев Шахбоз Толибджонович, асп., shahbozdadoboev@mail.ru, Россия, Чебоксары, ЧГУ имени Ульянова И.Н.

DEVELOPMENT OF A MATHEMATICAL MODEL FOR THE CONTROL SYSTEM OF PUMPING UNITS OF THE FIRST-STAGE IRRIGATION PLANT

Sh.T. Dadabaev

To study the modes of operation of the pumping station, mathematical models are required, which must take into account all parts and parameters of the station. For the mathematical description of the technological processes of the irrigation plant, it is necessary to create a structural diagram of the object, which in turn requires the derivation of equations of the mathematical model. As a result of the study, a basic structural diagram of the pumping station was compiled, and a mathematical model for controlling the pump capacity was developed by switching off/ on the units of the irrigation plant.

Key words: pumping station, mathematical model, structural diagram, tank area, pumping unit.

Dadabaev Shakhboz Tolibjonovich, postgraduate, shahbozdadoboev@mail.ru, Russia, Cheboksary, ChGU by name of Ulyanov I.N.

УДК 621.398; 621.316

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ УСТРОЙСТВА КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Д.В. Ишутинов, Е.Н. Малышев, Н.С. Сластихин, В.И. Лалетин

Рассмотрена имитационная модель устройства компенсации реактивной мощности на базе конденсаторных батарей, подключаемых параллельно индуктивной нагрузке, учитывающая работу датчика реактивной мощности и системы управления. В основу модели положена разработанная авторами методика выбора структуры и основных элементов схемы. Показано, что использование модели позволяет уточнить и детализировать как технические, так и экономические показатели системы электроснабжения.

Ключевые слова: конденсаторная батарея, имитационная модель, компенсация реактивной мощности, датчик реактивной мощности.

Одним из негативных факторов, ухудшающих качество электрической энергии [1] и снижающих энергоэффективность потребителей электрической энергии [2], является циркуляция реактивной мощности (РМ) в электрических распределительных сетях промышленных предприятий.

Основными потребителями, для работы которых необходима РМ, являются: линии электропередач, силовые трансформаторы и асинхронные двигатели. Компенсация РМ может быть выполнена различными способами. Достаточно простым и эффективным из них является статическая компенсация РМ с помощью устройств компенсации реактивной мощности (УКРМ), подключающих косинусные конденсаторы параллельно потребителям.

Известные методики синтеза УКРМ [3] позволяют осуществить выбор мощности, оптимального количества ступеней конденсаторной батареи (КБ) и алгоритма работы, опираясь на статистические оценки (математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение) графиков реактивной мощности, коэффициент загрузки и средневзвешенное значения $\cos\varphi$ для исследуемой силовой трансформаторной подстанции.

Однако графики электрических нагрузок предприятий представляют случайные процессы, поэтому выбор параметров КБ и алгоритма работы УКРМ требует проверки. С этой целью авторами разработана математическая модель системы электроснабжения предприятия с УКРМ, учитывающая реальную форму графика РМ.

При построении модели учтено, что режимы работы систем электроснабжения предприятий описываются вероятностными характеристиками, параметры отдельных элементов могут описываться нелинейными зависимостями. Кроме того, учет переменных параметров и сложных взаимных связей между отдельными элементами систем электроснабжения часто оказывается затруднительным. В силу указанных обстоятельств системы дифференциальных уравнений имеют высокий порядок, являются нелинейными, а точность определения некоторых параметров элементов, как правило, невысока. Наличие сложных взаимных связей может привести к тому, что математическое описание системы электроснабжения оказывается вырожденным или (и) неразрешимым относительно необходимых для анализа переменных. Поэтому далее рассмотрена имитационная модель, в которой воспроизводится процесс функционирования технической системы во времени. Здесь имитируется работа реальных технических устройств и отдельных элементов, составляющих динамическую систему, с сохранением наиболее значимых особенностей их функционирования и последовательности протекания процессов в этих элементах и всей исследуемой системе во времени.

Исходной информацией для разработки модели являются параметры и технические характеристики элементов (в том числе УКРМ), а также результаты экспериментальных исследований системы электроснабжения предприятий. К ним относятся параметры источника электрической энергии, активное сопротивление линии электропередачи, технические характеристики понижающего трансформатора и т.д., а также графики электрических нагрузок, полученные при мониторинге потребителей.

Модель системы автоматического регулирования разработана в соответствии с функциональной схемой УКРМ [4], в состав которой входят датчик реактивной мощности, управляемый генератор импульсов, компаратор, логический блок, интегральный распределитель, блок ручного управления, блок усилителей и выходных реле.

Для того чтобы разработать простую, но достаточно эффективную и функциональную модель, позволяющую оценить, в первую очередь, правильность работы системы автоматического управления УКРМ, а также исследовать статические режимы компенсации реактивной мощности, циркулирующей в системе электроснабжения, приняты следующие допущения:

1. Режимы энергопотребления отдельных потребителей электроэнергии в системе электроснабжения предприятия учитываются в модели с помощью групповых графиков активной и реактивной нагрузки.

2. В модели принят масштаб времени 1:360. Таким образом, рабочий цикл, составляющий 24 ч реального времени, в модели равен 240 с.

3. Из модели системы управления УКРМ исключен блок усилителей и выходных реле.

4. Конденсаторная батарея условно представлена усилителями с коэффициентом усиления численно равным реактивной мощности соответствующей ступени КБ.

5. Влияние на режимы работы системы электроснабжения относительно быстрых – по отношению к рабочему циклу – динамических электромагнитных процессов (заряд и разряд конденсаторов), возникающих при коммутации КБ, не учитывается.

В качестве инструмента применен пакет для инженерных и математических расчетов MathLabc интегрированным средством визуального имитационного моделирования динамических систем Simulink.

Структурная схема статической имитационной модели системы электроснабжения с УКРМ представлена на рис. 1.

Модель включает в свой состав следующие элементы:

1. Виртуальную модель УКРМ, разработанную в соответствии с функциональной схемой [4].

2. Виртуальную модель конденсаторной батареи.

3. Блок вычисления коэффициентов $\cos\varphi$ и $\operatorname{tg}\varphi$.

4. Виртуальную статическую модель потребителей электроэнергии, позволяющую проводить исследования с помощью реальных графиков активной и реактивной мощности снятых на предприятиях.

Исследование описанной выше модели позволило проверить режимы работы УКРМ системы электроснабжения ООО «Вятский фанерный комбинат». В качестве исходных данных использованы графики активной и реактивной мощности, снятые на втором трансформаторе трансформаторной подстанции №1 в марте 2017 года. Шаг значений по

времени для графиков нагрузок, вводимых в модель, составляет 1 с (5 мин реального времени). Система управления УКРМ работает по алгоритму 1:2:2[5]. Конденсаторная батарея УКРМ содержит три ступени: первая с реактивной мощностью 40 кВАр, вторая и третья с реактивной мощностью 80 кВАр. Результаты моделирования системы электроснабжения с автоматическим УКРМ представлены на рис. 2 - 4.

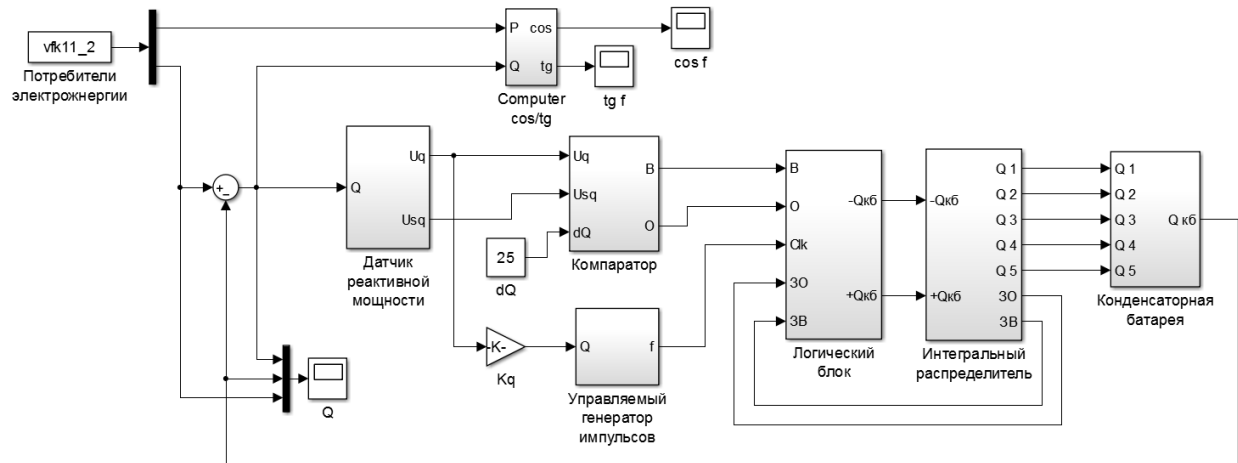


Рис. 1. Структурная схема модели системы электроснабжения с УКРМ в Simulink

На рис. 2 показаны графики реактивной мощности, циркулирующей в системе электроснабжения (Q) и генерируемой конденсаторной установкой ($Q_{КБ}$).



Рис. 2. Графики реактивной мощности

Анализ графиков коэффициентов $\cos\varphi$ (рис. 3) и $\operatorname{tg}\varphi$ (рис. 4) показывает, что значения показателей энергоэффективности лежат в допустимых пределах: $\cos\varphi > 0,94$, $\operatorname{tg}\varphi < 0,34$ [6].

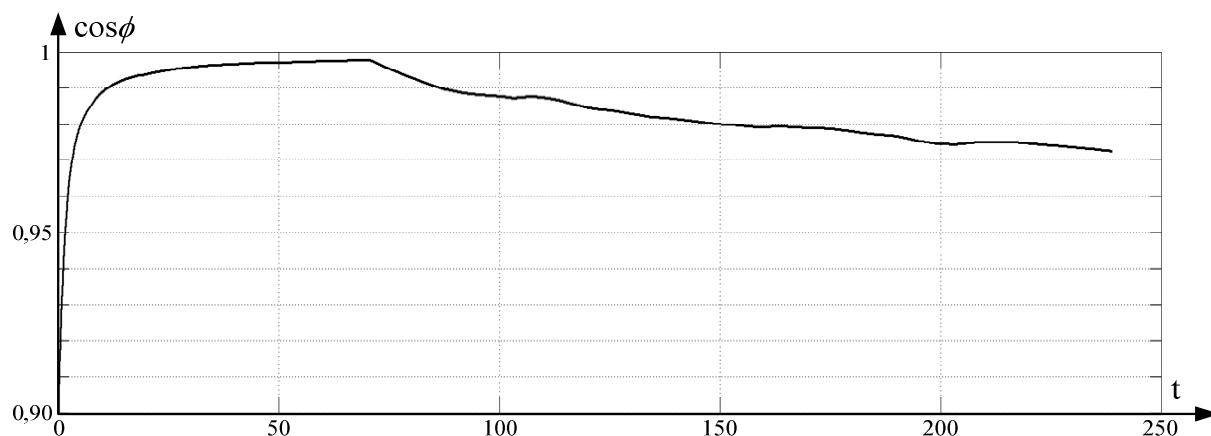


Рис.3. График показателя энергоэффективности $\cos\phi$

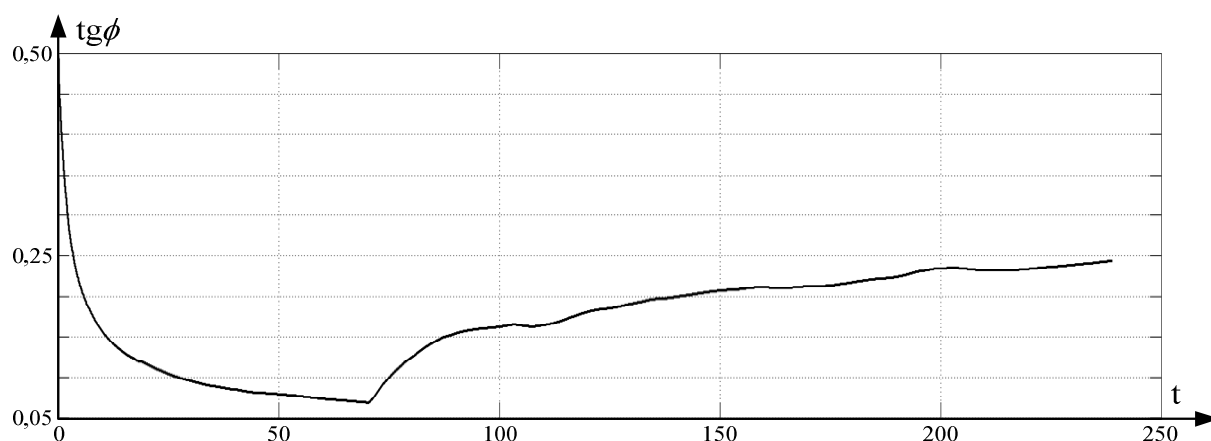


Рис. 4. График показателя энергоэффективности $\text{tg}\phi$

Ниже показаны диаграммы работы датчика реактивной мощности: информация о модуле (рис. 5) и знаке (рис.6) измеряемой мощности.

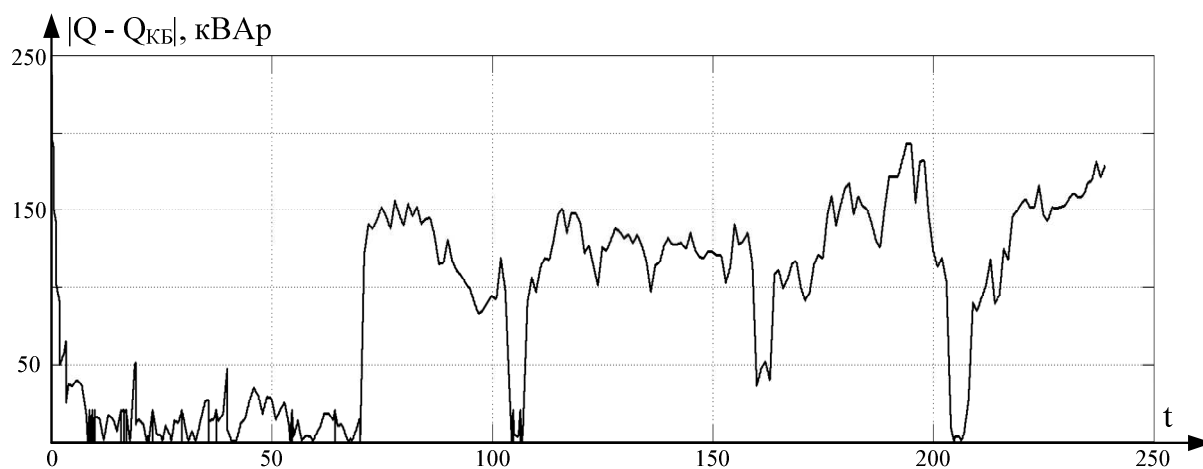


Рис.5. Показания датчика реактивной энергии о модуле измеряемой мощности

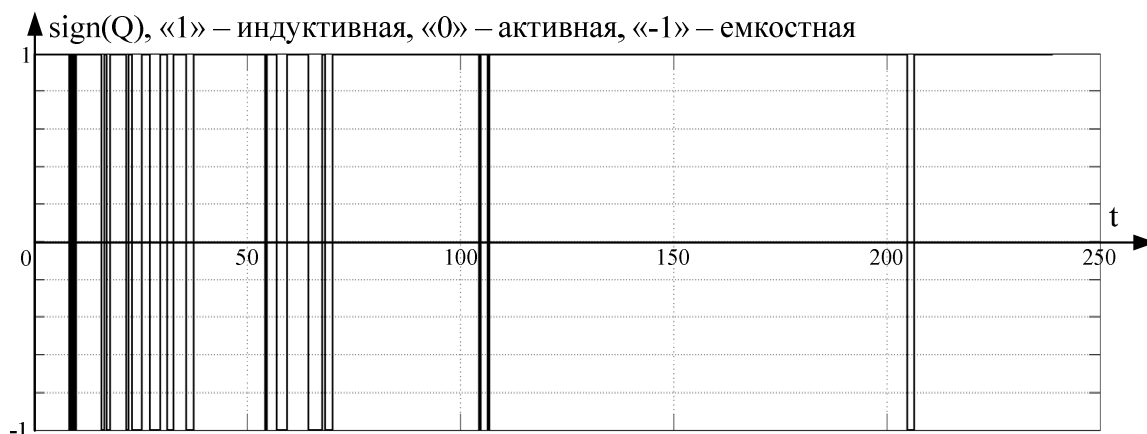


Рис. 6. Выходной сигнал датчика реактивной о знаке мощности

Представленные результаты имитационного моделирования режимов работы системы электроснабжения и функционирования основных элементов системы автоматического управления УКРМ доказывают эффективность применения компенсационной установки и обеспечение ею требуемых нормативными документами [1,2,6] параметров энергопотребления. Кроме того, применение описанной в статье модели системы автоматического управления УКРМ в дальнейшем позволит уточнить и детализировать как технические, так и экономические показатели системы электроснабжения с УКРМ.

Список литературы

1. Национальный стандарт РФ ГОСТР 54149-2010 "Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения". М.: Стандартинформ, 2012.
2. Федеральный закон от 23.11.2009г. №261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».
3. Выбор элементов и алгоритмов работы устройств повышения качества энергопотребления / Д.В. Ишутинов, С. И. Охапкин, Н.И. Присмотров, М.А. Мищихин // Тр. VIII Междунар. (XIX Всерос.) конф. по автоматизир. электроприводу АЭП-2014 : в 2 т. Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2014.
4. Ишутинов Д.В., Охапкин С.И., Присмотров Н.И. Энергосбережение и средства его реализации на предприятиях лесного комплекса // Тр. VII Междунар. (XVII Всерос.) конф. по автоматизир. Электроприводу / Иванов. гос. энергет. ун-т имени В.И. Ленина. Иваново, 2012. 708 с.

5. Выбор параметров конденсаторной батареи устройства компенсации реактивной мощности / Д.В. Ишутинов, Е.Н. Малышев, В.С. Хорошавин, М.А. Мишихин // Тр. IX Междунар. (XX Всерос.) науч.-техн. конф. по автоматизир. электроприводу АЭП-2016. С. 42 - 43.

6. Приказ Минпромэнерго РФ от 22 февраля 2007 г. №49 «Порядок расчета значений соотношения потребления активной и реактивной мощности для отдельных энергопринимающих устройств (групп энергопринимающих устройств) потребителей электрической энергии, применяемых для определения обязательств сторон в договорах об оказании услуг по передаче электрической энергии».

Ишутинов Дмитрий Владимирович, ст. преподаватель, ishutinov@vyatsu.ru, Россия, Киров, Вятский государственный университет,

Малышев Евгений Николаевич, канд. техн. наук, доц., malyshev@vyatsu.ru, Россия, Киров, Вятский государственный университет,

Сластихин Николай Сергеевич, ст. преподаватель, favt_slastihin@vyatsu.ru, Россия, Киров, Вятский государственный университет,

Лалетин Вениамин Иванович, канд. техн. наук, доц., laletin@vyatsu.ru Россия, Киров, Вятский государственный университет

IMITATION MODEL OF THE DEVICE FOR COMPENSATION OF REACTIVE POWER

D.V. Ishutinov, E.N. Malyshev, N.S. Slastihin, V.I. Laletin

The simulation model of the reactive power compensation device based on capacitor batteries connected in parallel to the inductive load is considered, taking into account the work of the reactive power sensor and the control system. The model is based on the method of selecting the structure and the main elements of the scheme developed by the authors. It is shown that the use of the model makes it possible to specify and detail both technical and economic indicators of the power supply system.

Key words: capacitor bank, simulation model, reactive power compensation, reactive power sensor.

Ishutinov Dmitriy Vladimirovich, senior lecturer, ishutinov@vyatsu.ru, Russia, Kirov, Vyatka State University,

Malyshev Evgeny Nikolaevich, candidate of technical sciences, docent, malyshev@vyatsu.ru, Russia, Kirov, Vyatka State University,

Slastihin Nikolay Sergeevich, senior lecturer, slastihin@vyatsu.ru, Russia, Kirov, Vyatka State University,

Laletin Veniamin Ivanovich, candidate of technical sciences, docent, laletin@vyatsu.ru, Russia, Kirov, Vyatka State University

СОДЕРЖАНИЕ

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

<i>Ларкин Е.В., Богомолов А.В., Горбачев Д.В., Антонов М.А.</i> О приближении потока событий к пуассоновскому в цифровых системах управления роботами	3
<i>Акименко Т.А., Филиппова Е.В.</i> Формирование изображения на приемнике теплового излучения	13
<i>Акинишин Н.С., Фомичёв М.Ю., Мацур И.Ю.</i> Комплекс алгоритмов для решения задач испытаний сложных технических систем	21
<i>Акинишин Р.Н., Шевченко Д.В., Чернышков А.И.</i> Обобщенная модель пространственно-распределенной системы обработки информации	32
<i>Антонов М.А.</i> Концепция построения реконфигурируемых отказоустойчивых цифровых систем	38
<i>Акинишин Р.Н., Вареница Ю.И., Цыбин С.М.</i> Определение требований к характеристикам комплексов средств обеспечения испытаний образцов сложных технических систем	43
<i>Глебович С.А.</i> Конструкция сильфонных компенсаторов	53
<i>Гравшин Е.Б., Ефимов А.И., Логинов А.А., Никифоров М.Б., Новиков А.И.</i> Визуализация и слияние графической информации в многоспектральных системах технического зрения	58
<i>Гришин К.А.</i> Аппроксимация композиции плоскостей законом распределения	67
<i>Гришин К.А.</i> Петри-Марковское моделирование типовых структур избыточных систем	70

<i>Есиков О.В., Цыбин С.М., Чернышков А.И.</i> Применение метода роя частиц для решения задачи распределения вычислительных ресурсов в бортовых информационных и управляющих системах по критерию равномерной загрузки	74
<i>Зубрилин А.В.</i> Исследование подходов и методов оценки энергопотребления	82
<i>Зубрилин А.В., Тагильцев М.В.</i> Предпечатная подготовка 3D-моделей с использованием специализированного программного обеспечения	88
<i>Корягина Л.И.</i> Задачи управления динамической платформой тренажера: программные модули	97
<i>Корягина Л.И.</i> Синтез параметров управления в управляющей системе тренажера	99
<i>Костров Б.В., Хруничев Р.В.</i> Разработка алгоритмической структуры организации поиска в малых локальных базах данных	104
<i>Ручкин В.Н., Костров Б.В., Фулин В.А., Пикулин Д.Р.</i> Интерфейс экспертной системы распараллеливания и анализа нейропроцессорных структур	110
<i>Ларкин Е.В., Богомолов А.В., Антонов М.А.</i> Буферизация данных в системах управления роботами	117
<i>Мамон Ю.И., Мацур И.Ю., Шевченко Д.В.</i> Обработка сигналов в разнесенных радиолокационных системах на основе адаптивных алгоритмов	128
<i>Мельник Э.В., Клименко А.Б.</i> Комплексный метод организации управления отказоустойчивой информационно-управляющей системой на основе многоагентного взаимодействия	136
<i>Нгуен Ван Шон</i> Определение положения точек в пространстве с использованием стереозрения	149

<i>Нгуен Ван Шон</i> Оптимальный метод для корреляционного сопоставления изображений	153
<i>Привалов А.Н., Кулешов В.Л.</i> О подходе к проектированию адаптивной тренажёрной системы стрелкового оружия	158
<i>Петровский К.А., Привалов А.Н.</i> О программной реализации метода спектрального оболочечного конечного элемента для решения динамической задачи	168
<i>Афанасьев Т.А., Линдигрин А.Н., Яковлев Б.С.</i> Применения отказоустойчивых систем и резервного копирования на полиграфических предприятиях	177
<i>Румянцев В.Л., Цыбин С.М., Фомичев М.Ю.</i> Методика выбора структуры и параметров локальной памяти информационной управляющей системы	182
<i>Сафонов А.С., Цудиков М.Б.</i> Программная реализация решения задачи распознавания наличия движения в видеопотоке	192
<i>Филиппова Е.В.</i> Тепловой тест-объект для оценки тепловизионных систем	199
<i>Чеховский Д.В., Цудиков М.Б.</i> Погрешности формирования панорамы из серии кадров	203
<i>Фомичев А.А., Филиппова З.Ю.</i> Модель оценивания конкурентоспособности выпускников	210
<i>Махутов Н.А., Куприков М.Ю., Балановский В.Л., Куприков Н.М.</i> Аппаратно-программные комплексы для систем комплексной безопасности объектов транспортной инфраструктуры в полярных регионах	221
<i>Ададуров С.Е., Калиниченко С.В., Лохвицкий В.А., Хомоненко А.Д., Яковлев В.В.</i> Модель оценивания оперативности облачных вычислений с учетом виртуализации и обеспечения информационной безопасности	233

<i>Глебович С.А.</i> Программное обеспечение расчета сильфонных компенсаторов на прочность	246
<i>Сай Вин Мо, Лупин С.А., Олейник Т.А., Ай Мин Тайк, Сое Мое Аунг</i> Эффективность параллельной реализации алгоритма перебора при распределении работы в иерархиях	251

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

<i>Шадский Г.В., Ерзин О.А., Сальников В.С.</i> Диагностика состояния зоны предразрушения в технологических системах операции	261
<i>Пегачкова Е.А., Кузнецова Е.Л.</i> Приближенный синтез управления беспилотным самолетом на основе необходимых условий оптимальности логико-динамических систем	277
<i>Пасынков А.А., Аккуратнова А.С.</i> Оценка напряженно-деформированного состояния и возможностей формоизменения тонкостенной трубной заготовки из сплава ВТ14 при ее раздаче в изотермических условиях	286
<i>Яковлев С.С.</i> Исследование анизотропии механических свойств листовых материалов, используемых в виде полос или лент	291
<i>Клименова Н.А., Пантюхина Е.В., Пантюхин О.В.</i> Анализ тепловых процессов нагревания и теплопередачи через плоскую стенку теплообменных аппаратов с изоляцией	296
<i>Парамонова М.С.</i> Создание унифицированного параметрического ряда роторных смесителей	303
<i>Ермилов Е.А., Ковальский Б.И., Безбородов Ю.Н., Олейник В.З.</i> Влияние процессов окисления и температурной деструкции на вязкостно-температурные характеристики моторных масел	310
<i>Махутов Н.А., Куприков М.Ю., Балановский В.Л., Куприков Н.М.</i> Повышение конкурентоспособности организации за счет обеспечения безопасности объектов в полярных регионах	318

<i>Пугин К.Г., Иванов Н.К., Шаякбаров И.Э.</i> Модернизация конструкции и организация безопасной эксплуатации компакторов на полигонах ТКО	326
<i>Хасанов М.К.</i> Математическая модель инжекции сероводорода в пористую среду, насыщенную нефтью и водой	337
<i>Синюта В.Р., Абрамова Л.В., Орловская Н.Ф.</i> Физико-химические свойства зимнего дизельного топлива	346
<i>Саяк Д., Карташева О.А., Андреев Ю.С.</i> Обзор и применение методов оценки интегральных показателей качества офсетных печатных форм	356
<i>Бабайцев А.В., Венценовцев Д.Л., Рабинский Л.Н., Радченко В.П.</i> Оценка тепловых режимов приемопередающего модуля активной фазированной антенной решетки	365
<i>Агровиченко Д.В., Ковальский Б.И., Балясников В.А., Шрам В.Г.</i> Метод определения влияния доливов на потенциальный ресурс и температурные пределы процессов окисления минерального моторного масла М-10Г ₂ к	375
<i>Махутов Н.А., Куприков М.Ю., Балановский В.Л., Куприков Н.М.</i> О современных подходах к процессу формирования облика эффективных систем безопасности сложных объектов в полярных регионах	389
<i>Ларин Н.В.</i> О влиянии непрерывно-неоднородного покрытия на звукоотражающие свойства термоупругого цилиндра	395
<i>Голубничая Я.Р., Проскуряков Н.Е.</i> Перспективные технологии 3D-печати	403
<i>Глебович С.А.</i> Эксплуатационный ресурс сильфонных компенсаторов	409
<i>Мальшев А.Н., Бысов С.А.</i> Профильные и профилированные заготовки в современном листоштамповочном производстве	415

Лавриненко Ю.А.
Разработка методики проектирования технологических процессов изготовления высоконагруженных пружин сжатия 421

Филипович О.В., Невар Г.В.
Оценка влияния погрешности измерения на показатели селективной сборки с помощью имитационного моделирования 428

Давыдов И.Б., Пантюхина Е.В.
Разработка математического и методического обеспечения САПР щелевого бункерного загрузочного устройства для элементов упаковки в виде Т-образных пробок 437

Лавриненко Ю.А.
Экспериментальная проверка напряженно-деформированного состояния пружин сжатия при выполнении упрочняющих операций 444

ВОЕННО-СПЕЦИАЛЬНЫЕ НАУКИ

*Войцеховский С.В., Калиниченко С.В.,
Галанкин А.В., Топорков Н.С.*
Методика повышения устойчивости функционирования военных систем на основе нечеткой логики 450

Береснева Е.В., Оценко А.П., Шарин Е.А.
Применение дифференциальной сканирующей калориметрии для исследования низкотемпературных свойств дизельных топлив ... 459

Малахов А.В., Гусеница Я.Н., Куприянов А.А.
Постановка задачи формирования технического облика реконфигурируемых мобильных метрологических комплексов 469

Загайнов А.И., Войцеховский С.В., Захаров А.И.
Методика исследования процессов изменения фрактальных показателей хаотических временных рядов 475

Носков Н.Н., Волков А.М., Зыкова В.К.
Методика оценки эффективности применения танковых мостоукладчиков 487

Буренин А.Н., Легков К.Е., Оркин В.В.
Вопросы применения имитационной модели
при управлении функционированием информационной
подсистемы автоматизированной системы управления сложными
организационно-техническими объектами в условиях массовых
возмущений 494

Кривошонок С.О., Попков Ю.А., Морару А.А.
Совершенствование элементов системы управления боевых
бригад сухопутных войск США 500

Власов В.И., Расщепкин И.А., Степанов С.В.
Способы совершенствования системы управления группировки
войск (сил) на операционном направлении 506

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Шевцов Г.А.
Исследование взаимодействия ферромагнитной дроби
с катушкой индуктивности при работе на постоянном токе 511

Ишутин Д.В., Малышев Е.Н., Сластихин Н.С., Рычков В.В.
Выбор параметров конденсаторной батареи устройства
компенсации реактивной мощности по экономическим критериям 518

Муратаева Г.А., Муратаев И.А.
Математическая модель диэлектрических характеристик масла
на растительной основе 524

Дадабаев Ш.Т.
Разработка математической модели системы регулирования
насосных агрегатов оросительной станции первого подъема 532

Ишутин Д.В., Малышев Е.Н., Сластихин Н.С., Лалетин В.И.
Имитационная модель устройства компенсации реактивной
мощности 536

Научное издание

ИЗВЕСТИЯ
ТУЛЬСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Выпуск 9

Часть 1

Редактор Е.В. Ларкин

*Компьютерная правка и верстка – Т.В. Бекленищева,
Б.С. Яковлев*

Учредитель:
ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»

Изд. лиц. ЛР № 020300 от 12.02.97.
Подписано в печать 25.09.17. Дата выхода в свет 29.09.17.
Формат бумаги 70×100 1/8. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 89,38.
Тираж 500 экз. Заказ 255
Цена свободная

Тульский государственный университет
300012, г. Тула, просп. Ленина, 92

Адрес редакции:
300012, г. Тула, просп. Ленина, 95

Отпечатано в Издательстве ТулГУ
300012, г. Тула, просп. Ленина, 95