

**Министерство образования и науки Российской Федерации**

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

**ISSN 2071-6168**

**ИЗВЕСТИЯ  
ТУЛЬСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
УНИВЕРСИТЕТА**

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

**Выпуск 12**

**Часть 2**

**Тула  
Издательство ТулГУ  
2013**

УДК 621.86/87

Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 12. Ч. 2. Тула: Изд-во ТулГУ, 2013. 350 с.

Рассматриваются научно-технические проблемы в области нетрадиционных возобновляемых источников энергии, энергосбережения и надежности в системах электроснабжения и электроэнергетических системах, задачи управления и обеспечения требуемого уровня надежности работы энергосберегающего электропривода, диагностирование и надежность технического состояния электротехнического и электроэнергетического оборудования, вопросы подготовки и переподготовки инженерных и научных кадров в области энергоресурсосбережения, управления, вычислительной техникой и информационными технологиями, горного дела, машиностроения и машиноведения.

Настоящий сборник составлен по результатам и докладам конференций: XI Московского международного энергетического форума «ТЭК России в XXI веке», I Международного Электроэнергетического форума «Электросетевой комплекс. Инновации. Развитие», Международных научно-технических конференции «Энергоэффективность-2013» и «Энергосбережение-2013».

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**, **В.И. ИВАНОВ**, **Н.М. КАЧУРИН**, **Е.А. ФЕДОРОВА**, **А.К. ТАЛАЛАЕВ**, **В.А. АЛФЕРОВ**, **В.С. КАРПОВ**, **Р.А. КОВАЛЁВ**, **А.Н. ЧУКОВ**

#### *Редакционная коллегия*

О.И. Борискин (отв. редактор), А.Н. Карпов (зам. отв. редактора), Р.А. Ковалев (зам. отв. редактора), А.Н. Чуков (зам. отв. редактора), С.П. Судаков (выпускающий редактор), Б.С. Яковлев (отв. секретарь), И.Е. Агуреев, А.Н. Иноземцев, С.Н. Ларин, Е.П. Поляков, В.В. Прейс, А.Э. Соловьев

#### *Подписной индекс 27851*

#### *по Объединённому каталогу «Пресса России»*

«Известия ТулГУ» 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

© Авторы научных статей, 2013

© Издательство ТулГУ, 2013

# **НЕТРАДИЦИОННЫЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ**

УДК 621.311.25

## **ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**

В.А. Алехин

*В данной статье рассматривается современная проблема человечества – кризис энергетических ресурсов. В связи с этим появляется необходимость в использовании новых источников, прибегая к нетрадиционной энергетике. Основное внимание в статье уделяется областям применения солнечной энергетике, как экологически чистого и возобновляемого источника энергии, также рассказывается о уже существующих изобретениях, их устройстве и принципе действия.*

*Ключевые слова: энергетический кризис, альтернативная энергетика, нетрадиционные возобновляемые источники энергии, солнечная энергетика, солнцемобиль, мобильная фотоэлектрическая станция, портативная система солнечного электропитания, солнечная кухня, светильники на солнечных батареях, солнечные коллекторы, солнечное излучение.*

В настоящее время наиболее актуальной проблемой человечества можно считать вопрос энергетического будущего страны и мира в целом. В средствах массовой информации часто затрагивают эту тему, в различных публикациях постоянно появляются статьи об энергетическом кризисе. Казалось бы, решение этой проблемы лежит на поверхности: больше электростанций – больше энергии. Однако чтобы их стало больше, необходимо израсходовать больше топлива, которое мы берем из природных запасов нефти, газа, угля, которые отнюдь не бесконечны [1, 6]. Сейчас ученые-инженеры всего мира занимаются поисками новых источников энергии, которые не только могли бы сохранить и заменить истощаемые природные ресурсы, но и улучшить экологическую картину нашей планеты.

Энергетика имеет многочисленные отрасли в зависимости от основного энергоносителя: ядерная, угольная, газовая, гидроэнергетика и альтернативная, основанная на использовании нетрадиционных возобновляемых источников энергии. К альтернативной энергетике можно отнести ветроэнергетику, солнечную, геотермальную, биомассовую, приливно-волновую и т. д. Если сравнить все отрасли по экологическим, экономическим критериям и показателям безопасности, то можно прийти к выводу,

что наиболее перспективной из них является солнечная энергетика [4].

Солнечная энергия, поступающая на территорию России, например, за три дня превышает энергию годовой выработки. Кроме того, запасы ее неисчерпаемы и по критерию экологичности ей нет равных.

Учеными подсчитано, что небольшого процента солнечной энергии достаточно для обеспечения транспортных, промышленных и бытовых нужд как в настоящее время, так и в будущем. На энергетическом балансе Земли и состоянии биосферы это не отразится, независимо от того, будет ли энергия использована или нет.

Однако нельзя упустить из виду один значительный недостаток. Солнечные излучения, падая на земную поверхность, не имеют определенного места концентрации, поэтому ее необходимо уловить и превратить в форму энергии, которую было бы возможно использовать для нужд человека. Кроме того, чтобы поддержать энергоснабжение в ночное время суток и пасмурные дни, нужно каким-то образом солнечную энергию запастись. В настоящее время эта проблема легко решается – главное правильно использовать данный ресурс, чтобы свести ее стоимость к минимуму. Тем более, учитывая каждодневное совершенствование технологий и удорожание, а главное, истощаемость традиционных ресурсов, солнечная энергия все больше и больше будет находить новые области применения [3]. Рассмотрим основные из них.

**Солнцемобиль.** Первый прототип транспортного средства на солнечных батареях появился в 1955 году в Чикаго благодаря Уильяму Коббу. Модель представляла собой конструкцию длиной немного больше фута и состояла из тринадцати селеновых фотоэлементов на крыше и маленького электромотора. Это была первая попытка в создании бесшумного и экологически чистого транспорта.

В конце 80-х годов XX века идея разрослась по всему миру. Идея бесспорно уникальная, но и довольно затратная. Для того чтобы солнцемобиль мог составить достойную конкуренцию автомобилю, необходимо использовать самые легкие и прочные конструкционные материалы, а также высокоэффективные системы электропривода, последние достижения в области электроники, гелио и электротехники и аэродинамики. Однако даже максимальной мощности солнечных батарей и электромоторов величиной 1,5-2 кВт не хватает для соперничества, поскольку эффективность доступных по цене фотоэлектрических преобразователей пока только 10 - 12 %, а не 40-50 %.

**Мобильная фотоэлектрическая станция.** Мобильная фотоэлектрическая станция представляет собой автономный источник энергии и может быть использована как в полевых условиях, так и для стационарного потребления. Хотя, конечно, основным предназначением станции служит зарядка аккумуляторов [9].

Принцип действия мобильной фотоэлектрической станции заклю-

чается в прямом преобразовании солнечного излучения в электроэнергию посредством солнечных элементов. Станция состоит из 4-х модульных солнечных батарей, сборно-разборной конструкции и межмодульного кабеля.

Солнечные элементы, используемые в модулях, с лицевой стороны защищены светостойкой пленкой, а с тыльной стороны имеют жесткую подложку. Все это позволяет защитить их от механических повреждений и воздействий окружающей среды. Модули солнечных батарей удобны для хранения и транспортировки, так как они представляют собой удобную складную конструкцию. Если же говорить об электрических характеристиках, то помощью кабеля возможна коммутация параллельно всех модулей для зарядки аккумуляторов номинальным напряжением 12 В, а последовательно-параллельно для напряжения 24 В. Чтобы достичь напряжения в 48 В, необходимо все модули соединить собственными токовыводами в последовательную цепь.

**Портативная система солнечного электропитания.** Данная система предназначена преимущественно для питания бытовой и специальной аппаратуры постоянного тока, имеющих мощность до 60 Вт, и основывается на солнечных фотоэлектрических модулях. В состав портативной системы входят: солнечная батарея, герметизированная аккумуляторная батарея с контроллером заряда-разряда и устройством сигнализации, сетевой адаптер и светильник с люминесцентной лампой.

Среди особенностей системы можно выделить следующие:

- аккумулирование энергии, поступающей от различных источников, в том числе термоэлектрических, солнечных батарей и сетевого зарядного устройства;
- простота эксплуатации и сборки, технологичность, осуществляемые благодаря использованию электрических разъемов;
- небольшой вес и неоспоримая компактность, что немало важно для мобильности системы.

**Солнечная кухня.** Солнечная кухня представляет собой бытовую гелиоустановку, предназначенную для приготовления пищи. Основным элементом является гелиоконцентратор, который фокусирует солнечные лучи на поверхности приемника излучения – посуды, в которой готовится пища.

Зачастую гелиоконцентраторы, используемые для солнечной кухни, имеют невысокую точность фокусирования солнечного излучения, однако ее вполне достаточно для удобства в бытовом применении. Вращение вслед за видимым движением Солнца осуществляется вручную, а КПД установки достигает 55-60 %.

Если говорить о преимуществах использования солнечной кухни, то можно отметить ее компактность для использования в походных условиях, незаменимость при отсутствии газоснабжения и, безусловно, бюд-

жетность данной установки.

**Светильники на солнечных батареях.** Сегодня уже мало кого удивит использованием фотоэлектрических систем для ночного освещения улиц, автострад и других территорий. Эти системы имеют автономное электроснабжение на базе солнечного модуля, что позволяет сделать освещение мало затратным.

Принцип действия таких систем не только надежен, но и прост. В течение светового дня фотоэлектрический элемент заряжает аккумуляторы, превращая солнечную энергию в электрическую. В ночное время светильник автоматически загорается и продолжает гореть до наступления рассвета.

На зарядку аккумуляторов интенсивность солнечного излучения не влияет, он способен заряжаться даже в пасмурную погоду, не говоря уже о зимнем сезоне.

В состав фотоэлектрической системы входит:

- фотоэлектрический модуль, преобразующий солнечный свет в электроэнергию;
- аккумулятор, накапливающий энергию. Обычно используются герметичные и необслуживаемые аккумуляторы, срок службы которых не превышает 10 лет;
- контроллер, который оптимизирует уровень зарядки/разрядки аккумулятора, автоматически включает освещение в ночное время и выключает в световой период;
- инвертор, преобразующий постоянный ток в переменный;
- осветительный блок, включающий плафон и лампу.

Безусловно, все электронные приборы фотоэлектрической системы снабжены защитой от короткого замыкания, перегрева и перегрузки, что обеспечивает надежность и эффективность работы системы.

В заключении отметим, что в настоящее время на территории России существует восемь предприятий, которые имеют технологии и производственные мощности для изготовления 2 МВт солнечных элементов и модулей в год. Развитие фотоэлектрической отрасли требует помимо традиционного и привычного кремния производство специального закаленного стекла с низким содержанием железа, алюминиевого проката и электронных регулирующих устройств. России такие производственные мощности на сегодняшний день доступны.

Потенциальные возможности солнечной энергетики чрезвычайно велики, и помимо большого числа положительных аспектов в пользу использования этого ресурса по сравнению с традиционной энергетикой, как уже говорилось в начале, существует один главный недостаток. Несмотря на то, что для обеспечения всех энергетических потребностей мира необходимо и достаточно всего лишь 0,0125 % всего количества энергии Солнца, к сожалению, вряд ли когда-нибудь эти огромные потенциалы удастся

реализовать в больших масштабах. Во-первых, это невозможно по причине низкой интенсивности солнечного излучения. К примеру, чтобы коллекторы за год уловили энергию, необходимую для удовлетворения всех потребностей человека, их нужно разместить на территории площадью 130000 км<sup>2</sup>. И во вторых, использование такого большого числа коллекторов влечет за собой значительные материальные затраты [2, 5]. Возможно ситуация изменится в лучшую сторону, если удастся использовать более дешевые материалы для изготовления коллекторов.

### Список литературы

1. Ахмедов Р.Б. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии / Ахмедов Р.Б. М.: Знание, 1988. 46 с.
2. Безруких П.П. Состояние и перспективы развития возобновляемой энергетики // Электрика. 2008. № 9. С. 3-10.
3. Ионов В.С. Солнечная энергетика уже давно не экзотика // Энергосбережение. 2006. № 6. С. 82-83.
4. Уделл С. Солнечная энергия и другие альтернативные источники энергии / Уделл С. М.: Знание, 1980. 88 с.
5. Шетов В.Х. Перспективы солнечного теплоснабжения // Энергосбережение. 2006. № 2. С. 98-99.
6. Дедух Д.Г. Достоинства и недостатки энергетики на нетрадиционном сырье // Актуальные проблемы современной науки. 2004. № 6. С. 412-416.
7. Горбачева Л.А. Нам солнце строить и жить помогает // Энергия: экономика, техника, экология. 2010. № 1. С. 29-34.
8. <http://www.bibliotekar.ru/alterEnergy/26.htm>
9. [http://www.avante.com.ua/rus/library/lib\\_perspektiv\\_soln\\_energetiki.htm](http://www.avante.com.ua/rus/library/lib_perspektiv_soln_energetiki.htm)

Алехин Владимир Анатольевич, магистр, [alehin7777@mail.ru](mailto:alehin7777@mail.ru), Россия, Тула, Тульский государственный университет

### THE FIELD OF APPLICATION OF SOLAR ENERGY

V.A. Alekhin

*This article considers the modern problem of mankind - the crisis of energy resources. This creates the need to use new sources, resorting to alternative energy. The main attention is paid to the areas of application of solar energy, as an environmentally friendly and renewable source of energy, also discusses the existing inventions, their design and principle of operation.*

*Key words: energy crisis, alternative energy, non-traditional renewable sources of energy, solar energy, mobile photovoltaic station, portable solar power, solar kitchen, solar street light, solar collectors, solar radiation.*

УКД 621.311.24

## ОСНОВНЫЕ АСПЕКТЫ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ

Е.В. Алехина

*Данная статья дает ответы на основные вопросы относительно ветроэнергетики. В ней рассмотрены такие аспекты, как преимущество ветровой энергии, что необходимо учитывать при создании ветроустановки и сколько электроэнергии она способна выработать, срок строительства и срок окупаемости ветроэлектростанций, качество ветровой энергии.*

*Ключевые слова: возобновляемая энергия, ветроустановка, ветроэнергетический кадастр, коэффициент готовности, срок энергетической окупаемости, коэффициент энергетической эффективности.*

Вопрос о создании установок распределенного генерирования, использующих возобновляемые источники энергии и снижающих климатические и экологические изменения, уже давно стоит на повестке дня во всем мире. Наиболее быстрое развитие сектора возобновляемой энергии произошло в Германии, особенно за последний десяток благодаря стимулированию федеральным законом. На сегодняшний день Германия насчитывает более 21100 ветроустановок с заявленной мощностью около 25 ГВт. В России же ветровая энергетика только на первой стадии развития [4].

Почему именно ветер? Легко объяснимо. Во-первых, энергия ветра бесплатна и неограниченна по сравнению с традиционными ресурсами. Во-вторых, её использование не наносит ущерб экологии и не приводит к климатическим изменениям. Конечно, в ветроэнергетике как и в любой другой энергетике есть свои минусы. Основной из них – это неустойчивый характер ветровых потоков. Низкое прогнозирование скорости ветра – наиболее важная проблема в современной энергетике, отсюда и неустойчивая работа ветроустановок, но эти вопросы решаемы в перспективе.

Все же вернемся к самому понятию: что же такое ветер и как его можно измерить?

Ветром называют циркулярное перемещение воздушных масс, вызванное неравномерным нагревом земной поверхности, а также вращением Земли вокруг своей оси. По происхождению выделяют несколько видов ветров:

- ветры, связанные с особенностями нагревания земной поверхно-

сти;

- ветры, связанные с течениями общей циркуляции атмосферы над горными массивами;

- ветры, связанные с течениями общей циркуляции атмосферы, но без нисходящей составляющей;

- многочисленные пыльные вихри, шквалы, песчаные бури.

Как природное явление ветер сильно влияет на жизнь и хозяйственную деятельность человека, но, тем не менее, оказалось возможным использовать его для производства энергии.

Скорость ветра в настоящее время определяют таким прибором как анемометр преимущественного чашечного типа. Принцип действия основан на вращении чашки вокруг вертикальной оси, на которой расположен небольшой генератор, дающий импульсы, количество которых пропорционально скорости вращения. Полученные данные пересчитываются в скорость ветра. Направление ветра определяется прибором аналогичным флюгеру. Чаще всего оба прибора совмещают в монолитную конструкцию.

Зная причину возникновения ветра и способ измерить его скорость, мы можем преобразовать его энергию в электрическую или механическую с помощью ветроустановки. Схематично принцип работы ветроустановки можно описать следующим образом. Лопасти ветроколеса связаны с оголовком, к которому крепится вал. Поток ветра попадает на лопасти ветроколеса, приводя его в движение. Через муфту вал соединяется с входным валом редуктора, а к выходному валу редуктора присоединяется генератор, благодаря которому и вырабатывается электрическая энергия. Редуктор в этой системе нужен для повышения скорости вращения вала до величины необходимой генератору.

Тем не менее, для создания ветроустановки необходимо знать характеристики ветра. Иным языком их называют ветроэнергетическим кадастром – совокупность характеристик ветра с точки зрения использования его для производства механической или электрической энергии.

К основным его составляющим относят среднегодовую скорость ветра, повторяемость скоростей, максимальную скорость ветра, распределение ветровых периодов и ветровых штилей, удельную мощность и удельную энергию ветра, ветроэнергетические ресурсы региона.

Далее вполне логично задастся вопросом, сколько электроэнергии способна выработать ветроустановка. На примере рассмотрим ветроустановку мощностью 10 кВт.

Как известно, электрическая энергия измеряется в Вт\*ч или кВт\*ч. Одна электрическая лампочка мощностью 100 Вт за десять часов своей работы потребляет 1 кВт\*ч электроэнергии. Если же вести речь о ветроустановке 10 кВт, то отдавать такую мощность она сможет только в том случае, если скорость ветра будет больше или равна номинальной скорости. Поэтому в среднем в год ветроустановка такой мощности способна выра-

батывать 15-20 тысяч кВт\*ч в зависимости от среднегодовой скорости ветра того района, где она располагается [6].

Естественно, что отдельно стоящая ветроустановка сама по себе бессмысленна, поэтому их объединяют в группы для увеличения вырабатываемой мощности и снижения затрат на их обслуживание.

Если же вести речь о сроках строительства ветростанций, то веря данным Европейской ветроэнергетической ассоциации, ветростанция на суше мощностью 10 Мвт может быть построена за 2 месяца, из которых основное время уходит на сооружение фундамента и выдержку бетона, а непосредственно монтаж ВЭУ длится в течение 2 - 3 дней.

Ветростанцию мощностью 50 МВт могут построить за 1,5 - 2 года. В этом случае основное время уходит на измерение скорости ветра на территории строительства – минимум полгода.

Готовность к работе ветроустановки обычно определяют коэффициентом готовности. Коэффициент готовности отражает надежность ветроустановки. Он показывает в процентах время за календарный год, в течение которого установка готова вступить в работу за вычетом времени на обслуживание и ремонт. Ветроустановки имеют величину коэффициента готовности 98 %, это самая высокая цифра среди всех генерирующих источников.

Несмотря на такие отличные данные относительно коэффициента готовности ветроустановки, процесс включения этого вида энергии в общую энергетику пока затруднен. Что нужно сделать с технической точки зрения, чтобы облегчить интеграцию ветровой энергии в энергосистему? Если смотреть на это все поверхностно, то никаких серьезных изменений и не видно, кажется даже наоборот, что ветроустановка облегчает условия работы электрической сети. Но копнув глубоко, выясняется, что если установка подключается к трансформатору, от которого питается город или другой населенный пункт, со стороны низкого напряжения, то снижается потребляемая из сети мощность и режим работы облегчается. Соответственно уменьшаются потери энергии и напряжения в линии электропередачи от трансформатора до основной сети. Однако проблемы с обеспечением устойчивости могут возникнуть, когда доля мощности ветростанции в системе достигает 10 % и более от потребляемой мощности, но пока таких величин достичь не удалось. Чтобы таких проблем избежать, нужно в первую очередь пересмотреть условия работы релейной защиты и автоматики и проверить отключающую способность выключателей на подстанции.

И тем не менее главная трудность присоединения ветростанции в энергосистеме в экономическом аспекте. До сих пор не пришли к единому тарифу, по которому энергосистема принимала бы энергию от ВЭС, хотя действующие нормативные документы позволяют установить тариф, который бы мог обеспечить окупаемость ВЭС в срок 5-10 лет.

Сам по себе срок энергетической окупаемости – это термин, обо-

значаящий время, за которое в нашем случае ветроустановка выработает то количество электроэнергии, которое было затрачено на ее проектирование, монтаж и строительство, обслуживание и утилизацию. В зависимости от среднегодовой скорости ветра ВЭС могут иметь самый низкий срок окупаемости в сравнении, например, с угольной или атомной.

Существует и другая оценка этого явления – «коэффициент энергетической эффективности», под которым подразумевают отношение энергии выработанной ветроустановкой за срок службы к энергии, затраченной на производство, строительство, обслуживание и утилизацию ветроустановки.

В среднем срок службы ветроустановки 20 - 25 лет. Безусловно, за это время допускается замена некоторых комплектующих изделий. Техническое обслуживание для проверки отдельных систем ветроустановки проводят 2 - 3 раза в год. Чаще всего это касается смазки редуктора и механизма поворота башни.

Также современные ВЭУ имеют очень эффективную молниезащиту. Проводники, обеспечивающие уход тока молнии в землю закладываются в лопасти ветроколеса и далее по всей конструкции, а система заземления, к которой подсоединяется башня, сооружается около каждой ВЭУ.

В заключении хотелось бы развеять миф относительно качества электроэнергии от ветростанций. Есть мнение, что оно не соответствует стандартам. Качество электроэнергии по частоте соответствует частоте автоматически, поскольку частоту тока на ВЭУ задает электростанция энергосистемы [7,8].

Качество по напряжению обеспечиваются и системой возбуждения генераторов, и источниками реактивной мощности на подстанции в соответствии с требованием стандартов. Кроме того, современные ВЭУ позволяют осуществлять регулирование напряжения и поддержание его на уровне требований стандарта.

И, конечно, нельзя не отметить конкурентоспособность ветроэнергетики на энергетическом рынке, поскольку они не только не влекут за собой выбросы углекислого газа в атмосферу и других загрязняющих веществ, но и не приводят к экологическим и климатическим изменениям. Поэтому ветер – лучший энергоресурс, так как это дешево, экологически чисто и неисчерпаемо!

### **Список литературы**

1. Гавриленко В.В. Выбор проектных параметров ветроколеса ветроэнергетической установки: монография. Омск: ОмГТУ, 2005. 128 с.
2. Галкин М.П., Горин А.Н. Выходные электрические параметры ветроэнергетических установок малой мощности // Энерг. стр-во. 1994. № 5-6. С.62-64.

3. Гуров В.И., Каримбаев Т.Д., Шабаров А.Б. Новые возможности ветроагрегатных систем // Энергия: экон., техн., экол. 2010. № 5. С.32-35.
4. Алексеев Б.А. Ветроэнергетика мира и ее проблемы // Энергетика за рубежом. 2007. № 5. С.31-47.
5. Затопляев Б.С., Николаев В.Г. Перспективы развития морской ветроэнергетики в акваториях Литвы, Польши и России // Малая энергетика. 2008. № 1-2(6-7). С.83-86.
6. Игнатъев С.Г., Киселев С.В. Развитие методов оценки ветроэнергетического потенциала и расчета годовой производительности ветроустановок // Альтернативная энергетика и экология. 2010. № 10(90). С.49-72.
7. [http://colxoz.com/vetroenergetika – prakticheskie – aspekty – i - perspektivy/](http://colxoz.com/vetroenergetika-prakticheskie-aspekty-i-perspektivy/)
8. <http://www.windgen.ru/about-news/vetrojenergetika>

Алехина Екатерина Владимировна, магистр, [1107gev@mail.ru](mailto:1107gev@mail.ru), Россия, Тула, Тульский государственный университет

#### THE MAIN ASPECTS OF WIND ENERGY

E.V. Alekhina

*This article provides answers to basic questions about wind power. It examines such aspects as the advantage of wind energy that is necessary for the creation of wind turbine and how much electricity it is able to develop, duration of construction and payback period of wind farms, the quality of wind energy.*

*Key words: renewable energy, wind turbine, wind energy cadastre, availability, term of the energy payback, energy efficiency ratio.*

*Alekhina Ekaterina Vladimirovna, master, 1107gev@mail.ru Russia, Tula, Tula state University*

## ПЕРСПЕКТИВЫ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ

*Е.В. Алехина*

*В данной статье идет речь о мировых достижениях ветроэнергетики и истории ее развития. Также рассматриваются основные типы ветродвигателей и конструкции современных ветроэлектростанций. Кроме того, особое внимание в статье уделено перспективе развития ветроэнергетики в России.*

*Ключевые слова: ветроэнергетика, неисчерпаемые ресурсы, ветроэлектростанции, нетрадиционная энергетика, ветродвигатели, ветропарки, ветроколесо, крыльчатые и карусельные типы ветродвигателя.*

С каждым новым днем затраты на использование электроэнергии растут все больше и больше. Перед человечеством становится немало важный вопрос относительно того, каким образом эти затраты возместить. Даже если не затрагивать проблему энергетического кризиса, традиционное сырье, такое как нефть, уголь, газ рано или поздно исчерпается, и встанет задача освоения новых экологически чистых, возобновляемых источников энергии. Среди них поистине неисчерпаемыми являются лишь Солнце и ветер, кроме того они не вносят значимых изменений в природный баланс. Далее речь пойдет о достижениях мировой ветроэнергетике и перспективе ее развития в России.

Если говорить о самых первых достижениях, способных приручить энергию ветра в нужном направлении, нельзя не отметить парус. Дальше появились ветряные мельницы, и на смену им пришли уже ветродвигатели, способные не только преобразовывать энергию ветра, но и вырабатывать электрическую энергию.

В крупномасштабной энергетике впервые попытку использовать энергию ветра предприняли в 40-ых годах XX века, однако она оказалась несвоевременной и потерпела неудачу. Причин было несколько, во-первых экологической угрозы еще никто не осознавал, гидроэнергетика гарантировала низкие цены на энергоносители, тепловые станции капитальных вложений не требовали, а нефть оставалась сравнительно дешевой.

Однако после нефтяного кризиса середины 70-х годов нетрадиционная энергетика за рубежом начала усиленно развиваться. Если верить данным Международного энергетического агентства, возобновляемая энергия сегодня составляет 2% от ее общего производства. Значительная часть принадлежит именно ветроэнергетическим станциям.

Если говорить о состоянии ветроэнергетики в России, то по сравнению с развитыми странами, где эта отрасль мощно и стремительно развивается, должного внимания у нас ей не уделяется, несмотря на то, что когда то отечественная ветроэнергетика была одним из мировых лидеров [1].

Начнем с того, как все начиналось. Много веков назад начало ветроэнергетики положили ветряные мельницы, так же как и в других странах. Лишь к 1918 году профессор Залевский проявил интерес к ветрякам и создал теорию ветряной мельницы, выявив несколько положений, которым должна отвечать ветроустановка. Отрасль начала стремительно развиваться благодаря выдающемуся профессору Н.Е. Жуковскому, который не только разработал теорию ветродвигателя, но и организовал отдел ветряных двигателей в Центральном аэрогидродинамическом институте. Затем в 1931 году в СССР заработала крупнейшая в мире ветроэнергетическая установка мощностью 100кВт, вслед за ней на юге страны были созданы еще десятки подобных ветроагрегатов. В 1938-м году в Крыму была создана ветроэлектростанция еще большей мощности – 5МВт. Неплохое начало было положено, количество ветроустановок росло, мощности увеличивались еще быстрее, чем их количество, и все бы было так хорошо, пока в 60-80-е годы энергетика страны не сменила ориентацию на строительство крупных ГЭС, ТЭЦ и АЭС. Естественно, что это привело к торможению в развитии малой энергетики, в том числе и ВЭС. И только в начале 90-х годов, гораздо позже чем в других странах, этот вопрос поднялся вновь, и завели разговор о практическом использовании ветроустановок и об организации их производства. Сразу же к работе привлекли МКБ «Радуга» Минвиапрома СССР и НПО «Южное» Минобщемаши СССР. Эти предприятия организовали производство ВЭУ мощностью 200, 250 и 1000 кВт, а проектные институты приступили к созданию первых крупных системных ветроэлектростанций: Восточно-Крымской, Ленинградской, Калмыцкой, Магаданской и Заполярной. Однако же длилась эта реабилитация недолго, так как в стране начался экономический кризис, поэтому все работы на объектах ветроэнергетики остановились. В итоге на сегодняшний день перед нами несколько плачевная картина. Россия значительно отстает от развитых стран не только в эффективности энергоснабжения и энергосбережения, но и в развитии малой нетрадиционной энергетики, в том числе и ветреной. Конечно, сейчас есть примерно 30-40 действующих небольших ветроэлектростанций, но говорить об их вкладе в общую энергетическую копилку страны не имеет никакого смысла, поскольку суммарно возобновляемые источники энергии дают менее 0,1% общей энергии в стране.

Далее предлагаю рассмотреть, что же из себя представляют ветроэлектростанции, которые играют не последнюю роль в энергетике современности. Конечно, на свое первое подобие-парус и мельницу они мало чем похожи, однако принцип работы остается тем же. Под напором ветра колесо с лопастями приходит в движение и передает свой крутящий момент остальным механизмам. Причем существует такая зависимость: чем больше диаметр вращающегося колеса, тем больший поток воздуха ему удастся захватить, соответственно скорость вращения увеличивается.

Основными типами ветродвигателей на сегодня являются крыльча-

тые и карусельные.

Ветроэлектростанции крыльчатого типа представляют собой лопастные механизмы с горизонтальной осью вращения, также их негласно называют ветродвигателями традиционной схемы. Максимальная скорость ветроагрегата будет достигаться тогда, когда лопасти расположены перпендикулярно потоку воздуха. Крыльчатые ВЭС постоянного тока небольшой мощности соединяют с электрогенератором напрямую, не используя мультипликатор, мощные же ВЭС оснащают редуктором.

Карусельные ВЭС, или в народе роторные, имеют вертикальную ось вращения и отличаются от крыльчатых тем, что работают при любом направлении ветра, не меняя своего положения. Когда скорость ветрового потока увеличивается, карусельные ВЭС увеличивают скорость тяги, в остальное же время их скорость остается стабильной. Ветроагрегат сам по себе тихходен, поэтому большого шума он не создает. Основным преимуществом является то, что используются многополюсные электрогенераторы, которые работают на малых оборотах, позволяя тем самым применять простые электрические схемы без риска аварии при случайно произошедшем порыве ветра [8,9].

Безусловно, ветроэнергетика привлекательна тем, что не наносит ущерба природе. Тем не менее, приходится констатировать тот факт, что работа ВЭС все-таки сопровождается некоторыми неприятными явлениями. Основное из них – это шум. К примеру, в непосредственной близости ВЭС мощностью 850 кВт на уровне ветроколеса уровень шума составляет 104 дБ. На расстоянии 300м шум снижается до величины 42-45 дБ, не больше той, которая имеет оживленная улица или автомагистраль.

Еще одним существенным недостатком ВЭС является возникающий опасный инфразвук частотой 6-7 Гц, способный вызывать вибрацию. От него в близлежащих домах наблюдается дребезжание стекол в окнах [6].

Однако на Западе эти проблемы были решены еще в середине 90-х годов. Конструкторам концерна НАСА (одним из ведущих производителей самолетов фирм «Боинг») удалось снизить уровень шума и вибрации благодаря подбору скорости вращения ветроколес и совершенствованию профилей.

Наука не стоит на месте. Инженеры-конструкторы современных ВЭС воплотили множество технических идей, отвечающим последним достижениям науки, например:

- система динамического изменения угла атаки (не только изменяет угол заклинивания лопастей, но и удерживает величину нужного угла);
- система динамического регулирования скорости вращения ветроколеса в зависимости от нагрузки и скорости ветра (помогает достичь оптимального режима работы);
- системы управления рысканием – электронный флюгер;

- система оперативного регулирования магнитного скольжения асинхронного генератора.

Тем не менее это далеко не весь перечень современных систем и механизмов, позволяющих достичь эффективную и, в первую очередь, безопасную работу электростанций. Современные ВЭС оснащены бортовыми компьютерами, следящими за состоянием агрегатов и режимами их работы. Срок эксплуатации ВЭС составляет 20 лет при обслуживании их раз в полгода.

В заключении хотелось бы сказать о перспективах развития ветроэнергетики в России. Безусловно, для строительства как больших, так и малых ВЭС наша страна обладает даже очень большим потенциалом. В первую очередь это огромные незастроенные пространства и зоны повышенного ветра. К таким районам нельзя не отнести Обскую губу, Кольский полуостров, прибрежная полоса Дальнего Востока, а также локальные аномальные зоны, ветер в которых значительно сильнее, такие как горные районы Владивостока [5].

Однако, несмотря на все географические и климатические преимущества, наша страна до сих пор не имеет ни огромных ветропарков, ни каких-нибудь единичных ветровых установок для энергоснабжения сельских поселков или дачного кооператива. Причина на все одна – отсутствие инвестиций. Если в Европе строительство ВЭС происходит в основном за счет средств народных денег, в том числе и акционерных обществ и вложений крупного бизнеса, не затрагивая государственный бюджет. В России же это сделать невозможно, так как попытка сразу же потерпит неудачу в первую очередь потому, что на законодательном уровне не определен порядок покупки электроэнергии электросетями. Кроме того, возникают проблемы с землеотводом и множество других бюрократических проблем.

Конечно, сейчас в стране строится несколько ветроэнергетических комплексов, последний из них был построен в маловетреной Башкирии. Но учитывая, что в свое время отечественная ветроэнергетика задала тон в мире, сегодня она безнадежно отстает от Запада. Так что перспектива на будущее у нас только одна: приложить все усилия и следовать примеру мировых лидеров ветроэнергетики, поскольку Россия имеет для этого большой потенциал.

### **Список литературы**

1. Грибков С.В. Сценарий развития ветроэнергетики в России. Оборудование для ветродизельных и системных сетевых ветростанций // Вести в электроэнергетике. 2009. № 4. С.44-50.
2. Григораш О.В., Военцов Д.В. Ветроэнергетические станции - состояние и перспективы // Прикладные задачи электромеханики, энергетики, электроники. Инженерные идеи XXI века: тр. всерос. студ. науч.-техн.

конф., Воронеж, 16-17 мая 2006. Воронеж: ВГТУ, 2006. С. 206-211.

3. Гужулев Э.П. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: учеб. пособие. Омск: ОмГТУ, 2006. 272 с.

4. Гусак С.И. Энергия ветра: вчера, сегодня, завтра // Альтернативная энергетика и экология. 2009. № 7(75). С. 65-68.

5. Дьяков А.Ф., Перминов Э.М., Шакарян Ю.Г. Ветроэнергетика России: состояние и перспективы развития. М.: МЭИ, 1996. С. 214-217.

6. Затопляев Б.С., Ливинский А.П., Редько И.Я. Особенности развития ветроэнергетики в России // Энергетик. 2003. № 8. С. 2-3.

7. Земчихин В.А., Черкасов О.Ю. Анализ устойчивости мачты ветроэнергетической установки с горизонтальной осью // Современные технологии в задачах управления, автоматики и обработки информации: тр. XIX междунар. науч.-техн. семинара, Алушта, сент. 2010. М.: МЭИ, 2010. С. 308-309.

8. ГОСТ Р 51990-2002. Нетрадиционная энергетика. Ветроэнергетика. Установки ветроэнергетические. Классификация. Введ. 01.07.2003. М., 2003. 7 с.

9. ГОСТ Р 51991-2002. Нетрадиционная энергетика. Ветроэнергетика. Установки ветроэнергетические. Общие технические требования. Введ. 01.07.2003. М., 2003. 7 с.

10.[http://vetrodvig.ru/?page\\_id=710](http://vetrodvig.ru/?page_id=710)

11.<http://referatwork.ru/new/source/50985text-50985.html>

*Алехина Екатерина Владимировна, магистр, [1107gev@mail.ru](mailto:1107gev@mail.ru), Россия, Тула, Тульский государственный университет*

#### *THE PROSPECTS OF WIND ENERGY*

*E.V. Alekhina*

*In this article referred to world achievements in wind energy and the history of its development. Also considered are the main types of wind turbines and the construction of modern wind farms. In addition, particular attention is paid to the future development of wind energy in Russia.*

*Key words: wind energy, inexhaustible resources, wind power, alternative energy, wind turbines, wind farms, wind wheel, wing and rotary types of wind turbine.*

*Alekhina Ekaterina Vladimirovna, master, [1107gev@mail.ru](mailto:1107gev@mail.ru), Russia, Tula, Tula state University*

## СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГИЯ И ДИОДЫ ШОТТКИ

В.А. Алехин

*В данной статье рассматривается независимый источник энергии – солнечная батарея, в основе которой лежит фотоэлектрический элемент, выполняющий роль фотоэлектрического преобразователя. Работа фотоэлемента невозможна без использования диодов. В статье также рассказано о диодах Шоттки – полупроводниковых диодах, имеющих малое падение напряжения при прямом включении.*

*Ключевые слова: независимый источник энергии, солнечные батареи, фотоэлектрические преобразователи, солнечные элементы, диод Шоттки, p-n переход, кремневые элементы, солнечные панели.*

Благодаря цивилизации и техническому прогрессу каждый современный человек имеет всё, что необходимо для его удобства. Мы уже рефлекторно открываем кран с горячей или холодной водой, зажигаем газ и включаем свет для удовлетворения своих каких-либо потребностей, и уже временное отсутствие воды или электричества по техническим причинам нам доставляет массу неудобств. Однако вряд ли многие задумываются, что когда-то эти блага закончатся, как же тогда нам быть? На этот случай сама природа подсказала нам новые возобновляемые источники энергии, например, Солнце.

С помощью Солнца практически каждый из нас может получить независимый источник электроэнергии, основанный на солнечных батареях [4]. Непосредственное преобразование солнечной энергии в электрическую происходит посредством фотоэлектрических преобразователей – солнечных элементов, из которых и состоит солнечная батарея.

Самой распространенной основой фотоэлементов является кремний, хотя и процесс производства с этим материалом весьма сложен и экономически невыгоден. Есть и альтернативы кремниевым солнечным батареям, в частности, полимерные солнечные батареи, которые являются более компактными, легкими, недорогими, а самое главное, экологичными. Тем не менее, на экономичность всей установки влияет такой технический параметр, как полезная мощность. Ее можно определить с помощью напряжения и выходного тока, которые в свою очередь зависят от интенсивности солнечного излучения. Увеличить эти параметры позволяет параллельно-последовательное соединение фотоэлементов: параллельное соединение повышает выходной ток, а последовательное – выходное напряжение. Такая комбинация позволяет также повысить надежность батареи, так как выход из строя одного элемента не влияет на работу всей цепочки [6].

Если по каким-либо причинам свет не попадает на часть батареи, и она оказалась затемненной, то возможен ее выход из строя. Предотвратить

это могут диоды, правда генерируемая выходная мощность будет на 25 % меньше, чем при нормальном освещении. Однако же и без диодов солнечным элементам не обойтись: на время затемнения они начинают перегреваться и превращаться в потребителей тока. При использовании диодов они шунтируются, и ток через них уже не идет. Чтобы минимизировать падение напряжения, диоды должны иметь низкое сопротивление, поэтому в последнее время наиболее часто используют низкоомные диоды Шоттки.

Диод Шоттки – это полупроводниковый диод, который имеет малое падение напряжение при прямом включении. Назван он в честь немецкого физика Вальтера Шоттки. Его особенность заключается в том, что в нем используется переход металл-проводник в качестве барьера Шоттки (потенциального барьера, образующегося в приконтактном слое полупроводника, граничащего с металлом и равного разности работ выхода металла и полупроводника) вместо р-п перехода, как у обычных диодов [6, 7].

Обратим внимание на особенности работы диода с барьером Шоттки на основе контакта металла с полупроводником n-типа. При контакте электроны из материала, имеющего меньшую работу выхода, переходят в материал с большей работой выхода. В этом случае выравниваются уровни Ферми металла и полупроводника. Возникающее внутреннее электрическое поле препятствуют переходу электронов в металл, поэтому полупроводник оказывается положительно заряженным. Между металлом и полупроводником возникает разность работ выхода, благодаря чему происходит обмен электронами: электроны из полупроводника с меньшей работой выхода переходят в металл с соответственно большей работой выхода. Электрическое поле, прекращающее однородный переход электронов, возникает в равновесном состоянии, когда металл заряжается отрицательно.

Так как концентрации свободных электронов по обе стороны от контакта имеет значительное различие, напряжение в основном падает на приконтактную область полупроводника. Если приложить внешнее напряжение, то оно всего лишь изменит высоту барьера со стороны полупроводника. Создается слой с низкой концентрацией подвижных носителей, потому что электронные зоны проводимости отталкиваются возникшим контактным полем. Вследствие изгиба границ зон около контакта полупроводник n-типа переходит в полупроводник p-типа.

На практике линейная зависимость высоты барьера от работы выхода металла наблюдается довольно редко, так как на поверхности полупроводника имеются поверхностные заряды. Высота потенциального барьера определяется состоянием поверхности полупроводника. Так же нельзя не учитывать токи утечки и токи генерации – воссоединения носителей заряда в области бедной электронами и возможного туннельного перехода отрицательно заряженных частиц в случае, если полупроводник сильно легирован.

Вольт-амперная характеристика контакта с барьером Шоттки в ши-

роких пределах изменения тока имеет вид:

$$I = I_0 [\exp(eU/akT) - 1], \quad (1)$$

где  $a$  – коэффициент «неидеальности» [9].

Ток через контакт обычно увеличивается вместе с ростом напряжения, когда речь идет об обратном смещении. Еще одной отличительной особенностью контакта металл-проводник является полное отсутствие при прямых напряжениях инжекции неосновных зарядов. Таким образом, можно сделать вывод, что в диоде Шоттки при прямом напряжении не происходит накопление таких зарядов, а при обратном напряжении он высасывается, что позволяет говорить о быстродействии такого диода.

Стоит отметить, что применение диодов Шоттки в сравнении, например, с обычными кремниевыми диодами, позволяет снизить прямое падение напряжения с 0,6 - 0,7 В до 0,2 - 0,4 В.

Кроме того, не менее важное достоинство диодов заключается в том, что барьер Шоттки имеет маленькую электрическую емкость перехода, что позволяет заметно повысить рабочую частоту. Примером использования этого свойства может служить его использование в интегральных микросхемах, где диодами Шоттки шунтируются переходы транзисторов логических элементов. В силовой же электронике малое время восстановления позволяет строить выпрямители на частоты в сотни кГц и выше. Например, диод MBR4015 (15 В, 40 А), оптимизированный под высокочастотное выпрямление, нормирован для работы при  $dV/dt$  до 10 кВ/мкс.

Также благодаря лучшим временным характеристикам и малым емкостям перехода выпрямители на диодах Шоттки отличаются от традиционных диодных выпрямителей пониженным уровнем помех, поэтому они более предпочтительней в традиционных трансформаторных блоках питания аналоговой аппаратуры.

Однако диоды Шоттки имеют и ряд недостатков. В частности, при кратковременном превышении максимального обратного напряжения он необратимо выходит из строя по причине короткого замыкания. Кроме того, диоды Шоттки характеризуются повышенными обратными токами при росте температуры кристалла, что может грозить пробоем его полупроводниковой структуры при возникновении положительной обратной связи.

Согласно известным данным, доля электричества в мировом использовании энергии составляет 39 %. Европа уже давно поняла преимущества использования солнечной энергии и поощряет частные лица и компании, которые решили перейти на естественный источник энергии. Многие производители оборудования, благодаря увеличению эффективности систем с диодами Шоттки, перешли на использование этой технологии для преобразования солнечной энергии [8, 9].

Сегодня доступны две основные категории системы преобразования солнечной энергии: связанные с коммунальными сетями и автоном-

ные. В первой категории существует зависимость от потребляемой нагрузки, времени суток и т. д., так как электроэнергия к потребителям подается как от солнечных панелей, так и от коммунальных сетей, поэтому эти системы могут отдавать энергию в сеть преимущественно в периоды малого потребления. Автономные же системы содержат аккумуляторы и генераторы резервного питания, которые заряжаются с помощью контроллеров и обеспечивают необходимое напряжение для работы инверторов, подающих в свою очередь электроэнергию конечным потребителям.

Несмотря на то, что наибольший рынок солнечной энергии в основном сосредоточен в Европе, он начинает распространяться и по всему миру. Отчасти это происходит не только в связи с увеличением усилий по охране окружающей среды и экономного использования исчерпаемых природных ресурсов, но и потому, что коммунальные энергетические сети дополнительно стимулируют потребителей, покупая у них излишнюю энергию как минимум в три раза дороже ее себестоимости.

Рынок солнечных панелей постоянно стремится к разработке все более эффективных систем, КПД которых обычно находится в пределах от 15 % до 20 %. В настоящее время на общий КПД системы влияние оказывают инверторные преобразователи, поэтому диоды на основе карбида кремния, т. е. диоды Шоттки, играют очень важную роль. Сейчас производителям таких диодов необходимо обратить внимание на нужды потребителей, предлагая все более мощные устройства. В перспективе лежат изыскания по разработке более высокоэффективных материалов для фотогальванических панелей, для того, чтобы больше электроэнергии выделять с меньших площадей солнечных панелей. Такими темпами в ближайшем будущем удастся полностью перейти на автономную систему энергообеспечения, в основе которой будут абсолютно экологически чистые возобновляемые источники энергии [1].

### **Список литературы**

1. Ахмедов Р.Б. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии / Ахмедов Р.Б. М.: Знание, 1988. 46 с.
2. Безруких П.П. Состояние и перспективы развития возобновляемой энергетики // Электрика. 2008. № 9. С. 3-10.
3. От энергии пара до энергии солнца. М.: Высшая школа, 1969. 72 с.
4. Уделл С. Солнечная энергия и другие альтернативные источники энергии / Уделл С. М.: Знание, 1980. 88 с.
5. «Идеальные диоды» от компании STMicroelectronics. Джафер Меджахед, Дмитрий Цветков / Новости электроники, 2009, №14. С. 23-25.
6. Полупроводниковые приборы. Диоды высокочастотные, диоды импульсные, оптоэлектронные приборы: справочник / А.Б. Гитцевич,

А.А. Зайцев, В.В. Мокряков и др.; под ред. А.В. Голомедова. М.: Радио и связь, 1988. 592 с.

7. Основы микроэлектроники: учеб. пособие для вузов / И.П. Степаненко. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2003. 488 с.

8. [http://www.rom.by/blog/Diody\\_Shottki](http://www.rom.by/blog/Diody_Shottki)

9. [http://library.tuit.uz/el\\_ucheb/microvoln\\_poluprov\\_pribori/main/Lectures/lecture6-2.htm](http://library.tuit.uz/el_ucheb/microvoln_poluprov_pribori/main/Lectures/lecture6-2.htm)

Алехин Владимир Анатольевич, магистр, [alehin7777@mail.ru](mailto:alehin7777@mail.ru), Россия, Тула, Тульский государственный университет

## SOLAR ENERGY AND SCHOTTKY DIODES

V.A. Alekhin

*This article discusses an independent energy source - solar battery, which is based on the photoelectric cell, performing the role of a photovoltaic cell. Work photocell impossible without the use of diodes. The article describes the Schottky diodes - semiconductor diodes with low voltage drop when the direct inclusion.*

*Key words: independent source of energy, solar panels, photovoltaic cells, solar cells, Schottky diode, p-n transition, flint elements, solar panels.*

*Alekhin Vladimir Anatolievich, master, [alehin7777@mail.ru](mailto:alehin7777@mail.ru), Russia, Tula, Tula state University*

УДК 621.311.243

## МЕТОД РАСЧЕТА РАЦИОНАЛЬНОГО ШАГА ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ

Нго Сян Кыонг

*В статье определен рациональный шаг позиционирования электромеханической системы солнечных батарей путем сэкономленной энергии двигателя и потери энергии солнечных батарей в режиме шагового автосопровождения.*

*Ключевые слова: электромеханическая система, солнечная батарея, шаг позиционирования.*

Для повышения эффективности электромеханической системы (ЭМС) солнечных батарей (СБ) [1] нужно устанавливать функциональную связь шага позиционирования с КПД, потерями энергии солнечных батарей и сэкономленной энергией двигателя.

КПД СБ определяется отношением:

$$\eta = \frac{P_M}{P}, \quad (1)$$

где  $P$  – мощность падающего на СБ солнечного излучения, приходящаяся на единицу поверхности СБ,  $P_M$  – максимальная выходная мощность СБ, отнесенная к площади его поверхности.

При малых солнечных углах падения можно считать, что выходная мощность СБ пропорциональна ее активной площади. Потери мощности СБ в зависимости от солнечного угла падения.[2]

$$\Delta P_\phi = P_M (1 - \sin \theta_i) \quad (2)$$

Путем интегрирования потери мощности формулы (2) по времени СБ в результате перехода от режима непрерывного автосопровождения Солнца к режиму шагового автосопровождения эти потери за один период, учитывающий время совершения шага и время ожидания следующего шаг, принимает следующий вид:

$$\Delta P_{CB} = \frac{P_M \cdot \omega_{ш}}{\theta_{ш}(\omega_{ш} - \omega_c)} (\alpha_1 - \sin \alpha_1 - \alpha_2 + \sin \alpha_2) \quad (3)$$

где  $\theta_{ш}$  – величина шага позиционирования;  $\omega_{ш}$  – скорость СБ в течении шага, рад/с;  $\omega_c$  – скорость кажущегося движения Солнца по небосклону, рад/с;  $\alpha_1$  – углом между солнечным излучением и нормалью наклонной поверхности в начале совершения шага, рад;  $\alpha_2$  – углом между солнечным излучением и нормалью наклонной поверхности в конце совершения шага, рад.

Поэтому потери энергии в СБ за дневной сеанс слежения

$$\Delta W_\phi = t_c \Delta P_{CB} \quad (4)$$

где  $t_c$  – время непрерывного слежения.

При режиме шагового автосопровождения КПД СБ определяется следующим:

$$\eta_{ш} = \frac{P_M - \Delta P_{CB}}{P} = \frac{P_M}{P} [1 - \frac{\omega_{ш}}{\theta_{ш}(\omega_{ш} - \omega_c)} (\alpha_1 - \sin \alpha_1 - \alpha_2 + \sin \alpha_2)] \quad (5)$$

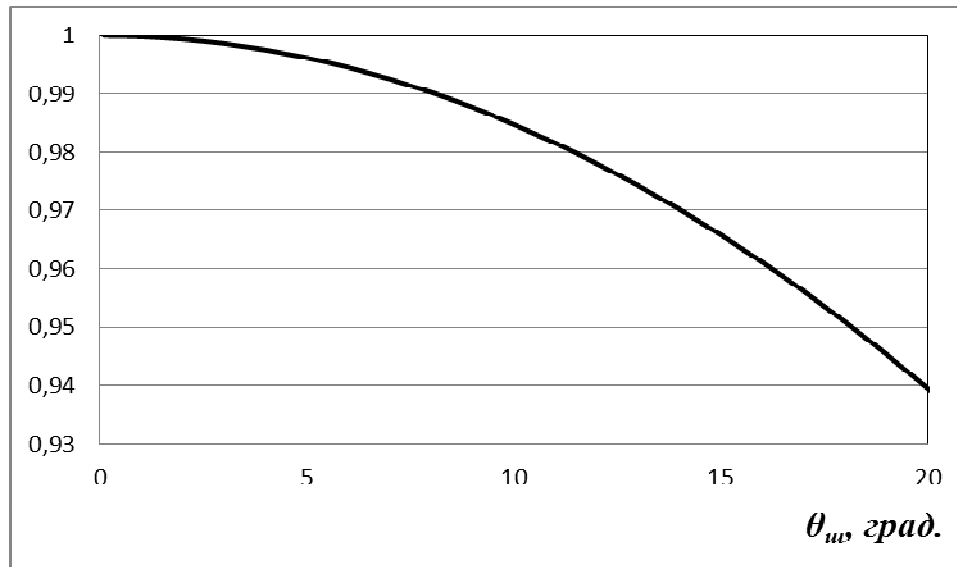
В самом деле скорость СБ в течении шага позиционирования много больше чем скорости кажущегося движения Солнца по небосклону  $2 \cdot 10^{-4}$  рад/с. И приближено, с точностью до 2% при изменении углов  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  в пределе от  $10^\circ$  до  $10^\circ$  КПД СБ может переписать в следующие:

$$\eta_{ш} = \eta_M [1 - \frac{1}{\theta_{ш}} (\frac{\alpha_1^3 - \alpha_2^3}{6})]$$

где  $\eta_M = \frac{P_M}{P}$  максимальный КПД при ориентации СБ по нормали к солн-

цу.

На рис. 1 представлена зависимость дополнительных средних КПД СБ от величины шага позиционирования. Видно, что с увеличением шага позиционирования КПД СБ уменьшается. При шаге 10 градусов КПД СБ на 1,5% меньше чем непрерывное слежение.



**Рис. 1. Зависимость дополнительных средних КПД СБ от величины шага позиционирования**

Сэкономленная энергия двигателя в результате перехода от режима непрерывного автосопровождения Сольца к режиму шагового автосопровождения за дневной сеанс слежения определяется формуле:

$$\Delta W_{\partial в} = W - W_{ш} = P_{\partial в} t_c - P_{\partial в} N_{ш} (t_{ш} + T_M) \quad (6)$$

где  $P_{\partial в}$  – номинальная мощность двигателя;  $T_M$  – электромагнитная постоянная времени двигателя;  $N_{ш}$  – число шагов;  $t_{ш}$  – время совершения шага.

Время непрерывного слежения, время совершения шага и число шагов определяются следующим образом:

$$t_c = \frac{\theta_3}{\omega_c}; \quad t_{ш} = \frac{\theta_{ш}}{\omega_{ш}}; \quad N_{ш} = \frac{\theta_3}{\theta_{ш}}.$$

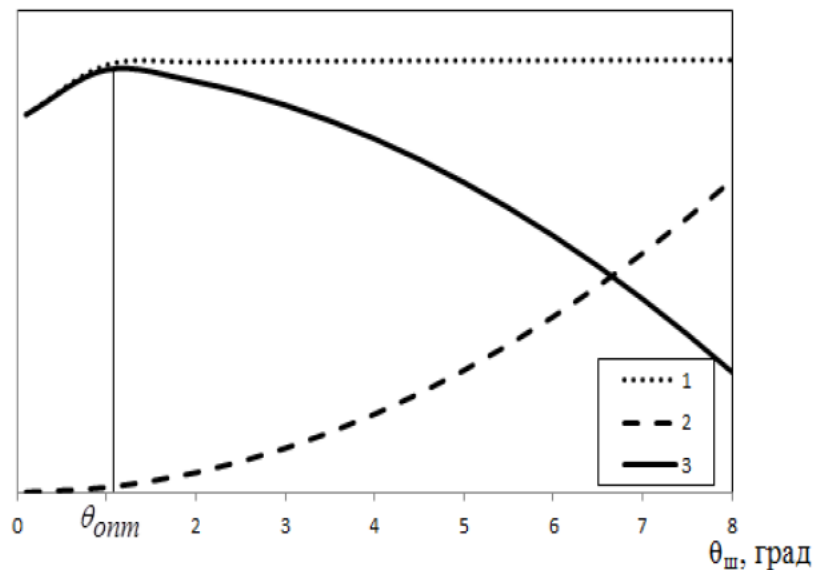
где  $\theta_3$  – суммарный угол поворота за сеанс слежения.

После замены этого в формуле (6) получена формула для сэкономленной энергии двигателя

$$\Delta W_{\partial в} = P_{\partial в} t_c \left( 1 - \frac{\omega_c}{\omega_{ш}} - \frac{\omega_c}{\theta_{ш}} T_M \right). \quad (7)$$

Сэкономленная энергия ЭМС СБ в режиме шагового автосопровождения.

$$W_{ЭМС} = \Delta W_{дв} - \Delta W_{\phi} \quad (8)$$



**Рис.2. Зависимость сэкономленной энергии двигателя, потери энергии и их разности от величины шага позиционирования**

Методами дифференциального исчисления для сэкономленной энергии ЭМС СБ определена рациональная величина шага позиционирования по формуле:

$$\theta_{опт} = 3 \sqrt{\frac{3P_{дв} \cdot T_M}{P_M} \frac{\omega_c(\omega_{ш} - \omega_c)}{\omega_{ш}}} \quad (9)$$

На рис. 2 представлены зависимости сэкономленной энергии двигателя, потери энергии и их разности от величины шага позиционирования.

Видно, что при рациональном шаге позиционирования  $\theta_{опт}$  в диапазоне шагов  $0,5^\circ - 3^\circ$  получается максимальная сэкономленная энергия ЭМС СБ, при шаге 10 градусов сэкономленная энергия ЭМС СБ исчезла. Значения рационального шага позиционирования зависит от мощности двигателя, скорости слежения и максимальной мощности СБ. Определение рационального шага позиционирования является одним способом повышения эффективности функционирования электромеханической системы.

### Список литературы

1. Нго С.К.. Анализ конструктивных схем электромеханических систем солнечных батарей // Известия ТулГУ. Технические науки. Тула: Изд-во ТулГУ, 2013. Вып. 1. С. 322-326.
2. Сорокин Г.А. Электроприводы энергетических гелиоустановок без концентрации излучения // Автореферат дис. канд. техн. наук. 2005. 20 с.

*Нго Сян Кыонг, асп., [cuongngoxuan@gmail.com](mailto:cuongngoxuan@gmail.com), Россия, Тула, Тульский государственный университет*

*CALCULATION METHOD RATIONAL STEP OF POSITIONING THE  
ELECTROMECHANICAL SYSTEM OF SOLAR PANELS*

*Ngo Xuan Cuong*

*The article defines the rational step of positioning the electromechanical system of solar panels by energy savings motor and loss of energy solar panels in mode of stepper auto-tracking.*

*Key words: electromechanical system, solar battery, step positioning.*

*Ngo Xuan Cuong, postgraduate, [cuongngoxuan@gmail.com](mailto:cuongngoxuan@gmail.com), Russia, Tula, Tula State University*

# **ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И НАДЕЖНОСТЬ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

УДК 621.3.018.3

## **ВЛИЯНИЕ ВЫСШИХ ГАРМОНИК В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ НА ПОТЕРИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ**

В.М. Степанов, И.М. Базыль

*Рассмотрены задачи и практические методы, обеспечивающие эффективность фильтрации гармоник.*

*Ключевые слова: электроэнергия, гармоники, трансформатор, токи, показатели качества электроэнергии.*

Всякое ухудшение качества электроэнергии влечёт за собой её перерасход. Такое положение справедливо и для тех случаев, когда это ухудшение лежит в пределах нормы и соответствует ГОСТ. При перерасчётах, связанных с проектированием и эксплуатацией СЭС, не учитывают потери, возникающие в устройствах, применяемых для поддержания напряжения на допустимом уровне. Так, например, для трансформаторов с устройствами РПН это потери в регулирующих устройствах.

В последнее время обращают внимание и на такой показатель качества, как отклонение частоты напряжения от номинальных значений, который также приводят к потерям электроэнергии. Производственные затраты обусловленные некачественной электроэнергией не оцениваются и не учитываются, что делать необходимо.

Проблема несинусоидальности – проблема высших гармоник – возникла в последнее время в связи с применением мощных электроприемников с нелинейной вольт-амперной характеристикой, таких, как электросварка, дуговые сталеплавильные печи, неуправляемые и, особенно, управляемые вентильные преобразователи. В настоящее время проблема высших гармоник является одной из важных частей общей проблемы электромагнитной совместимости приемников электроэнергии с питающей электрической сетью.

Несинусоидальный ток в сопротивлениях питающей сети создает несинусоидальные падения напряжения так, что даже при синусоидальной

ЭДС источника энергии в сети с выпрямительной нагрузкой имеют место несинусоидальные токи и напряжения. Таким образом, нагрузка потребляет из питающей сети искаженный ток, в состав которого входят гармоники, с частотами, превышающими основную частоту. Падения напряжения, обусловленные этими токами, вызывают искажение кривой напряжения питания, что ведет к дополнительным потерям передаваемой мощности, может нарушить работу других приемников, создает опасность возникновения резонанса и перегрузку цепей, содержащих емкости. Поэтому выпрямительную нагрузку можно рассматривать как генератор высших гармонических напряжения.

Высшие гармоники оказывают отрицательное влияние на технологический процесс и режим работы электролизеров. Наличие пульсирующего напряжения с большим содержанием высших гармоник способствует увеличению обратимых восстановительных процессов в электролите, влияет на подвижность ионов, перенос заряда и, следовательно, приводит к снижению коэффициента полезного действия электролизных установок, ухудшению качества продукции.

При прохождении токов высших гармоник по элементам системы электроснабжения возникают дополнительные потери активной мощности и электроэнергии. Наибольшие дополнительные потери активной мощности имеют место в трансформаторах, двигателях и генераторах. В ряде случаев эти потери могут привести к недопустимому перегреву обмоток электрических машин и во всех случаях приводят к дополнительным потерям электрической энергии.

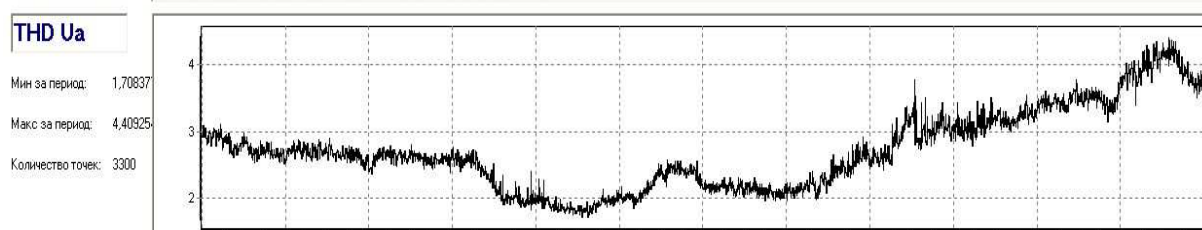
При наличии гармоник в кривой напряжения процесс старения изоляции протекает более интенсивно, что объясняется ускорением при высоких частотах электрического поля физико-химических процессов в диэлектриках, обуславливающих их старение.

Высшие гармоники тока и напряжения влияют на погрешности электроизмерительных приборов. В практике эксплуатации существенное значение имеет увеличение погрешностей индукционных счетчиков активной и реактивной энергии. Значения этих погрешностей существенно отражаются при учете потребления электрической энергии.

Наличие высших гармоник затрудняет и в ряде случаев делает невозможным использование силовых цепей в качестве каналов для передачи информации. Высшие гармоники ухудшают работу телемеханических устройств, вызывают сбои в их работе, если силовые цепи используются в качестве каналов связи.

Ограничение несинусоидальности напряжения с наибольшей эффективностью может быть достигнуто на стадии проектирования систем электроснабжения промышленных предприятий, но требует дополнительных затрат. Поэтому такое ограничение является технико-экономической проблемой, которую нельзя решать в отрыве от задачи компенсации реак-

тивной мощности. Это объясняется тем, что компенсирующие устройства с емкостными параметрами (например, конденсаторные батареи, фильтры высших гармоник) в сочетании с индуктивным сопротивлением питающей сети могут приводить к резонансу в сети на высокой частоте, и следовательно, к увеличению отдельных гармоник тока и напряжения.



**Рис. 1. График показателей гармонической составляющей на предприятии**

Появление убытка от высших гармоник обуславливает необходимость снижения их уровней в системах электроснабжения. В настоящее время основными мерами по уменьшению влияния высших гармоник напряжения на элементы электроустановок являются:

- рациональное построение схемы электроснабжения;
- применение многофазных схем выпрямления, специальных законов управления преобразователями;
- использование резонансных фильтров.

Увеличение числа фаз выпрямления является действенной мерой снижения уровней высших гармоник. Однако анодные трансформаторы для большого числа фаз выпрямления получаются сложными, дорогими и ненадежными. Поэтому для мощных преобразователей применяют, как правило, не более чем 12-фазный режим выпрямления.

Одним из наиболее перспективных способов уменьшения токов и напряжений высших гармоник в сетях промышленных предприятий является применение силовых фильтров высших гармоник, представляющих собой последовательное соединение индуктивного и емкостного сопротивлений, настроенных в резонанс на фильтруемую гармонику.

Основным недостатком фильтров является их высокая стоимость, обусловленная в основном стоимостью батарей конденсаторов. Поэтому применение фильтров целесообразно лишь в тех случаях, когда требуется не только не допустить проникновения в электрическую систему токов некоторых гармоник, но и скомпенсировать реактивную мощность в рассматриваемом пункте системы электроснабжения. Распространение фильтров ограничивает также большая их чувствительность к точности настройки. При неточной настройке звеньев фильтра эффективность его уменьшается и даже может иметь место увеличение гармоник напряжения

на шинах подстанции.

Для эффективной работы фильтров их надо устанавливать, начиная с гармоники самого низкого порядка, возникающей при работе нелинейных нагрузок (с фильтра 5-й гармоники для вентильных преобразователей). При неправильном включении фильтров коэффициент несинусоидальности в точке их подключения не только не уменьшается, но и может значительно увеличиваться. Возникает значительная перегрузка батарей конденсаторов в цепи фильтра токами высших гармоник, которая ведет к выходу из строя конденсаторных батарей и фильтра высших гармоник.

Отклонение значений емкостей батарей конденсаторов и индуктивностей реакторов, входящих в состав фильтров, обусловливается целым рядом факторов, которые можно разделить на субъективные и объективные.

К субъективным причинам относятся отсутствие опыта проектирования, изготовления, монтажа и промышленной эксплуатации силовых фильтров, отсутствие научно обоснованных методик и аппаратуры настройки фильтров перед эксплуатацией и подстройки их в процессе эксплуатации.

К числу объективных факторов можно отнести изменение емкостей батарей конденсаторов и индуктивностей реакторов в зависимости от температуры нагрева, изменение индуктивных и емкостных сопротивлений фильтров при изменении частоты питающей сети, ступенчатое регулирование индуктивности реактора фильтра с помощью отпаяк, последствия аварийных режимов в фильтрах[4].

Наиболее простым способом снижения несинусоидальности является выделение нелинейных нагрузок на отдельную секцию шин, подключенную к одной обмотке многообмоточного трансформатора или реактора. Допустимое значение коэффициента несинусоидальности на шинах с нелинейной нагрузкой определяется только условиями надежной работы автоматических систем управления и самих нагрузок. Возможно и противоположное решение: рассредоточение нелинейных нагрузок по различным узлам систем электроснабжения исходя из допустимого уровня несинусоидальности.

Следует отметить, что в настоящее время ведутся широкие исследования способов и средств уменьшения высших гармоник в электрических сетях. Известны предложения по применению усложненных законов управления вентильными преобразователями, при которых не только значительно снижается влияние преобразователей на форму кривой напряжения сети, но и одновременно уменьшается потребление ими реактивной мощности.

В связи с этим, электротехнический комплекс электропитающих систем должен быть многофункциональным, применяемым в системах электроснабжения. Это устройство позволит производить компенсацию

реактивной мощности в электрической сети, а также обеспечит стабилизацию напряжения на шинах потребителей, фильтрацию высших гармоник, симметрирование токов и напряжений в сети, и обеспечит экономию средств на оплату потребляемой предприятием электрической энергии.

### Список литературы

1. Алексеев Б.А. Продление срока службы силовых трансформаторов. Новые виды трансформаторного оборудования. СИГРЭ-2002// Электрические станции. 2003. №7.
2. Быстрицкий Г.Ф. Энергосиловое оборудование промышленных предприятий: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. М.: Издательский центр "Академия", 2003. 304 с.
3. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие. М.: Высш. шк., 2001. 479 с.
4. Иванов В.С., Соколов В.И. Режимы потребления и качество электроэнергии систем электроснабжения промышленных предприятий. М.: Энергоатомиздат, 1987. 336 с.
5. Конюхова Е. А. Электроснабжение объектов: учеб. пособие для студ. учреждений сред. проф. образования. М.: Издательство «Мастерство», 2002. 320 с.
6. Нагорная В.Н. Экономика энергетики: учеб. пособие / Н.В. Нагорная; Дальневосточный государственный технический университет. Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2007. 157 с.
7. Трунковский Л. Е. Электрические сети промышленных предприятий. 1991.

*Степанов Владимир Михайлович, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой, [energy@tsu.tula.ru](mailto:energy@tsu.tula.ru), Россия, Тула, Тульский государственный университет,*

*Базыль Илья Михайлович, асп., [energy@tsu.tula.ru](mailto:energy@tsu.tula.ru), Россия, Тула, Тульский государственный университет*

### *THE EFFECT OF HIGHER HARMONICS IN THE POWER SUPPLY SYSTEM ELECTRICITY COMPANIES*

*V.M. Stepanov, I.M. Bazyl*

*Addressed challenges and practices to ensure the effectiveness of harmonic filtering.  
Key words: electric power, harmonics, transformer, currents, power quality indices.*

*Stepanov Vladimir, doctor of technical sciences, professor, head. chair, [energy@tsu.tula.ru](mailto:energy@tsu.tula.ru), Russia, Tula, Tula State University,*

*Bazyl Ilya Mikhailovich, postgraduate, [energy@tsu.tula.ru](mailto:energy@tsu.tula.ru), Russia, Tula, Tula State University*

## ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ ОХЛАЖДЕНИЯ МОЩНЫХ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Д.В. Алипов, Ю.И. Горелов

*Рассмотрены вопросы определения эффективных способов управления системой охлаждения мощных силовых трансформаторов. В основу методики положены основы теории тепломассопереноса.*

*Ключевые слова: силовой трансформатор, система охлаждения, управление тепловыми потоками.*

Рассмотрим вопросы математического моделирования динамики тепловых процессов в воздушно-масляных охладителях силовых трансформаторов. При эксплуатации силового трансформатора нет возможности изменения конструкции охладителей, поэтому в соответствии с законом Ньютона тепловой поток  $q$ , отбираемый от любой охлаждаемой поверхности, описывается уравнением:

$$q = hS\Delta T,$$

где  $q$  — количество теплоты за единицу времени,  $h$  — коэффициент теплоотдачи,  $S$  — площадь поверхности теплообмена,  $\Delta T$  — температурный градиент.

Это уравнение показывает, что повышение интенсивности теплообмена между маслом — стенками радиаторов — воздухом возможно только путем повышения значения соответствующих коэффициентов теплоотдачи.

Рассмотрим процесс теплопередачи «масло — стенки радиатора». Используя критериальное уравнение [1]

$$Nu_m = 0.85 \cdot 0.74 \cdot Re_m^{0.2} (Gr \cdot Pr)^{0.1} Pr^{0.2}, \quad (1)$$

где  $Nu_m$ ,  $Re$ ,  $Gr$ ,  $Pr$  — числа Нусельта, Рейнольдса, Грасгофа и Прандтля, соответственно, определяемые как [1]

$$Re = \frac{\rho_m \omega L}{\mu}, \quad (2)$$

$$Nu = \frac{hL}{k}; \quad (3)$$

$$Gr = \frac{L^3 \rho_m^2 g \beta (\Delta T_m)}{\mu^2}; \quad (4)$$

$$Pr = \frac{C_m \mu}{k}; \quad (5)$$

где  $L$  — характерный размер,  $\rho_m$  — плотность масла,  $C_m$  — удельная тепло-

емкость,  $\beta$  - коэффициент объемного теплового расширения,  $g$  - ускорение свободного падения,  $\mu$  - вязкость масла,  $\lambda$  - коэффициент теплопроводности,  $\omega$  - скорость движения масла в каналах радиатора охладителя,  $\Delta T_{м-ст}$  - температурный градиент «масло – стенки радиатора» охладителя.

Подставляя (2) – (5) в (1), получаем

$$\frac{hL}{k} = 0.85 \cdot 0.74 \cdot \left( \frac{\rho_M \omega L}{\mu} \right)^{0.2} \left( \frac{L^3 \rho_M^2 g \beta (\Delta T_M)}{\mu^2} \cdot \frac{C_M \mu}{k} \right)^{0.1} \left( \frac{C_M \mu}{k} \right)^{0.2}$$

откуда

$$h = 0.629 \sqrt[10]{\frac{\omega^2}{\mu}} \cdot \sqrt[10]{\frac{\rho_M^4 C_M^3 \beta \Delta T_M}{L^5}},$$

или вводя обозначения

$$C = 0.629 \cdot \sqrt[10]{\frac{\rho_M^4 C_M^3 \beta \Delta T_M}{\mu L^5}};$$

окончательно получаем

$$h = C \sqrt[5]{\omega}. \quad (6)$$

Пусть скорость движения масла в каналах радиаторов повышена в 2 раза, тогда

$$q_1 = h_1 S \Delta T = C \sqrt[5]{\omega} S \Delta T; q_2 = h_2 S \Delta T = C \sqrt[5]{2\omega} S \Delta T;$$

$$\frac{q_2}{q_1} = \frac{C \sqrt[5]{2\omega} S \Delta T}{C \sqrt[5]{\omega} S \Delta T} = \sqrt[5]{2} \approx 1.15$$

Таким образом процесс теплопередачи от масла стенкам радиаторов охладителей при повышении скорости движения масла в каналах радиатора в 2 раза приводит к увеличению теплового потока «масло – стенки радиатора» в 1.15 раз.

Рассмотрим процесс теплопередачи «радиатор – воздух». Коэффициент теплоотдачи «радиатор – воздух» при принудительной циркуляции воздуха может быть найден из критериального уравнения [1]

$$Nu_f = 0.023 Re_f^{0.8} Pr_f^{0.4} \varepsilon_f, \quad (7)$$

где  $Nu_f$ ,  $Re_f$ ,  $Pr_f$  - числа Нусельта, Рейнольдса и Прандтля, вычисленные при средней температуре воздуха, соответственно;  $\varepsilon_f$  - поправочный коэффициент, характеризующий конструктивные особенности охладителя. Так как [1]

$$Pr = \frac{C_B \mu}{k}; \quad (8)$$

то подставляя (2), (3), (8) в (7), получаем

$$\frac{hL}{k} = 0.023 \left( \frac{\rho \omega L}{\mu} \right)^{0.8} \left( \frac{C_B \mu}{k} \right)^{0.4} \varepsilon_f;$$

откуда

$$h = 0.023 \frac{k}{L} \left( \frac{\rho \omega L}{\mu} \right)^{0.8} \left( \frac{C_B \mu}{k} \right)^{0.4} \varepsilon_f = 0.023 \varepsilon_f \sqrt[5]{\frac{k^3 \rho^4 C_B^4}{L \mu^2}} \sqrt[5]{\omega^4}$$

или, вводя обозначения

$$D_B = 0.023 \varepsilon_f \sqrt[5]{\frac{k^3 \rho^4 C_B^4}{L \mu^2}};$$

окончательно получаем

$$h = D_B \sqrt[5]{\omega^4}.$$

Здесь  $L$  - характерный размер охладителя,  $\rho$  - плотность воздуха,  $C_B$  - удельная теплоемкость воздуха,  $\mu$  - вязкость воздуха,  $k$  - коэффициент теплопроводности воздуха,  $\omega$  - скорость движения воздуха при обдуве радиатора.

Пусть скорость обдува воздухом радиаторов повышена в 2 раза, тогда

$$q_1 = h_1 S \Delta T = D_B \sqrt[5]{\omega^4} S \Delta T; q_2 = h_2 S \Delta T = D_B \sqrt[5]{(2\omega)^4} S \Delta T;$$

$$\frac{q_2}{q_1} = \frac{D_B \sqrt[5]{(2\omega)^4} S \Delta T}{D_B \sqrt[5]{\omega^4} S \Delta T} = \sqrt[5]{16} \approx 1.74$$

Таким образом процесс теплопередачи от стенок радиаторов охладителей при повышении скорости обдува воздухом радиаторов в 2 раза приводит к увеличению теплового потока «стенки радиатора – окружающая среда» в 1.74 раза.

Значит регулирование скорости движения воздуха в охладителе приблизительно в  $1,74/1,15 = 1,513$  раза эффективнее увеличения скорости движения масла в радиаторе охладителя.

Таким образом увеличение скорости масла, например, с помощью насоса без увеличения теплоотдачи со стороны воздуха не приведет к существенному увеличению теплового потока радиатора. В случае принудительного движения воздуха увеличение скорости циркуляции масла становится обоснованным, поскольку масло при циркуляции за счет гравитационных сил и в связи с наличием гидравлического сопротивления в радиаторах может передавать соответствующий увеличенному коэффициенту теплоотдачи со стороны воздуха тепловой поток только при большом осевом перепаде температуры масла в радиаторе.

Рассмотрим теперь изменение статического давления со стороны воздуха при его проходе через охладитель. Если считать полное давление на входе в охладитель заданным, то перепад статического давления со сто-

роны воздуха теоретически может быть определен как сумма четырех слагаемых.

Первое слагаемое – это перепад давления на входе в охладитель, включающий в себя падение давления, вызванное внезапным уменьшением сечения и увеличением скорости в суженном сечении, и местные потери давления, характеризуемые коэффициентом местного сопротивления.

Второе слагаемое – это падение давления, обусловленное работой, затрачиваемой на ускорение циркулирующего потока воздуха при его нагреве и расширении в охладителе. Этот процесс объясняется следующим образом. Воздух входит в охладитель по круглой трубе со средней скоростью  $\omega_1$ . Предполагается, что режим его течения ламинарный. Во входном сечении трубного пучка профиль распределения скоростей воздуха изменяется, так как движущийся в трубе поток разбивается на множество мелких струй воздуха, имеющих параболический профиль распределения скоростей и сохраняющих первоначальную среднюю скорость  $\omega_1$ . Это изменение профиля распределения скоростей требует затраты работы, равной кинетической энергии потока воздуха, имеющего всюду внутри сечения скорость  $\omega_1$ . Вторая часть работы, затрачиваемая на ускорение, обусловлена преобразованием струй воздуха, имеющих параболическое распределение скоростей и движущихся со средней скоростью  $\omega_1$ , в новые струи, имеющие также параболическое распределение скоростей, но движущиеся со средней скоростью  $\omega_2$ . Третье слагаемое – это потери давления на трение воздуха. В справочниках значения коэффициента сопротивления трения  $\zeta_c$  задаются по данным экспериментов для различных типов оребрения труб как функция Re.

Четвертое слагаемое – это перепад давления на выходе из охладителя, включающий в себя повышение давления, вызванное внезапным увеличением сечения и уменьшением скорости в увеличенном сечении, и местные потери давления, характеризуемые коэффициентом местного сопротивления  $\zeta_e$ .

Таким образом, полный перепад статического давления со стороны воздуха может быть определен, исходя из сказанного, по следующей формуле [1]:

$$\Delta p = \frac{\rho_1 \omega_1^2}{2} \left[ (1 - \sigma^2 + \zeta_c) + 2 \left( \frac{\rho_2}{\rho_1} - 1 \right) + \zeta_s \frac{F_2}{A_2} \frac{\rho_k}{\rho_1} - (1 - \sigma^2 + \zeta_e) \frac{\rho_2}{\rho_1} \right],$$

где  $\rho_1$  и  $\omega_1$  – плотность и скорость воздуха у входа в охладитель;  $\rho_2$  – плотность воздуха у выхода из охладителя, определяемая при температуре воздуха у выхода из охладителя;  $\rho_k$  – средняя плотность воздуха в охладителе, определяемая при температуре, получаемой через логарифмическую разность температур масла и воздуха в охладителе.

Пусть перепад давления  $\Delta p$  в охладителе за счет использования всасывающего вентилятора повышен в 2 раза, тогда

$$q_1 = h_1 S \Delta T = D_B \sqrt[5]{\omega^4} S \Delta T; q_2 = h_2 S \Delta T = D_B \sqrt[5]{(\sqrt{2}\omega)^4} S \Delta T;$$

$$\frac{q_2}{q_1} = \frac{D_B \sqrt[5]{(\sqrt{2}\omega)^4} S \Delta T}{D_B \sqrt[5]{\omega^4} S \Delta T} = \sqrt[5]{4} \approx 1.31$$

Таким образом регулирование скорости обдува охладителей оказывается в  $1,74/1,31 = 1,33$  раз эффективнее повышения перепада статического давления в охладителе за счет использования всасывающего вентилятора в трубопроводе устройства утилизации воздушного теплового потока, но повышения перепада статического давления в охладителе за счет использования всасывающего вентилятора в  $1,31/1,15 = 1,14$  раз эффективнее регулирования скорости движения масла в охладителе.

### Список литературы

1. Киш Л. Нагрев и охлаждение трансформаторов. М.: Энергия, 1980, 208 с.

Алипов Дмитрий Вадимович, магистрант, [gor\\_tula@rambler.ru](mailto:gor_tula@rambler.ru), Россия, Тула, Тульский государственный университет,

Горелов Юрий Иосифович, канд. техн. наук, доц., [gor\\_tula@rambler.ru](mailto:gor_tula@rambler.ru), Россия, Тула, Тульский государственный университет

### ON CONTROL EFFECTIVENES THE COOLING SYSTEM OF POWER TRANSFORMERS

*D.V. Alipov, Y.I. Gorelov*

*The problems of identifying effective ways to control the cooling system of large power transformers are considered. The methodology laid the foundations of the theory of heat and mass transfer.*

*Key words: power transformer, cooling system, control the heat flow.*

*Alipov Dmitry Vadimovich, postgraduate, [gor\\_tula@rambler.ru](mailto:gor_tula@rambler.ru), Russia, Tula, Tula State University,*

*Gorelov Yury Iosifovich, candidate of technical science, docent, [gor\\_tula@rambler.ru](mailto:gor_tula@rambler.ru), Russia, Tula, Tula State University*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ УСТРОЙСТВ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ**

Е.А. Ядыкин, И.М. Базыль

*Рассмотрены задачи и практические методы, обеспечивающие эффективное управление энергетическими потоками.*

*Ключевые слова: электроэнергия, электроэнергетическая система, токи, энергоэффективность, электропотоки.*

При создании электроэнергетической системы необходимо обеспечить требуемый уровень функционирования электропитающих систем при наиболее экономичном и бесперебойном электроснабжении. Это возможно при эффективном развитии и оперативном управлении функционированием электроэнергетической системы. Оно должно базироваться на двух основных направлениях.

Первое — необходимость внедрения кибернетических методов управления электроэнергетической системой, имеющих в своей основе целенаправленное, оптимальное воздействие на систему при учете всех ее важнейших связей. Мировой опыт и анализ перспектив показывают, что без этого невозможно осуществить экономически и технически совершенное управление электроэнергетической системой уже в ближайшие 10 лет. Причем должный эффект возможен только в том случае, если электроэнергетическая система будет заранее проектироваться как большая система, работающая на основе кибернетических принципов управления.

Второе — научно обоснованная оптимизация развития (проводимая с учетом факторов надежности) и оперативное управление электроэнергетической системой представляют собой взаимосвязанные объекты системы, которые должны иметь требуемый уровень надежности и обеспечить реализацию оптимальных условий функционирования электроэнергетической системы.

Развитие стройной теории оптимизации и управления электроэнергетической системой должно заключаться в следующем: используя современные математические методы системного анализа и средства кибернетики, путем обобщенного изучения природы и свойств электроэнергетической системы определить и сформулировать закономерности развития и методы оптимального управления данными системами. Ключевыми в этом случае являются задачи, требующие рассмотрения ограниченных неопределенностей исследуемых систем, их сложной иерархической структуры и научно обоснованной декомпозиции, а также влияния на решения непол-

ной информации о функционировании и развитии систем. В плане этих и других сопутствующих задач становится особенно важным определение оптимального сочетания формализованных методов, отражаемых в управляющих действиях и действиях человека при управлении как функционированием систем, так и их развитием.

Работы по осуществлению оперативного управления режимом иерархических электроэнергетических систем предусматривают их многоуровневое развитие и функционирование; по мере развития и совершенствования применяемых управляющих устройств будет повышаться роль централизованного управления и установок, работающих в замкнутом контуре управления. Поэтому в настоящее время основное внимание уделяется практическому применению методов синтеза, позволяющих получить желаемые характеристики любых процессов.

Должны вестись исследования для создания диагностических методов, на основе которых должны работать устройства цифрового регулирования и новой профилактической защиты. Такие устройства разрабатываются применительно к системам всех видов: от малых по мощности автономных систем до Единой электроэнергетической системы страны. Установки системной противоаварийной и защитной профилактической автоматики создаются с широким применением вычислительной техники и микропроцессоров.

При высокой размерности задач особенно важно обеспечить быстрый ввод в вычислительную машину большого количества как вероятно-определенной, так и собственно-неопределенной информации о режиме электроэнергетической системы, где требуется специальная теоретическая разработка и выявление особенностей используемой информации, практики ее применения в установках, управляющих режимами электроэнергетической системы. Следует учитывать оценку общих массивов информации, на ее распределение по уровням и узлам управления.

Основным направлением является снижение потребления электроэнергии путем: совершенствования технологических процессов, применения современных энергосберегающих технических средств и технологий, правильного выбора мощности и типов энергетического оборудования, экономичных режимов их работы. Необходимо отключать незагруженное электрооборудование и трансформаторы в период снижения нагрузки, максимально снижать время работы технологического и вспомогательного оборудования на холостом ходу, снижать уровень освещенности в зависимости от времени суток, сезона и графика работы персонала, принимать меры по увеличению коэффициента мощности, снижая потребление реактивной мощности, своевременно осуществлять профилактические осмотры и плановые ремонты, оперативно устранять поломки.

Управление потоками реактивной мощности (РМ) является одним из аспектов управления электрическими режимами, которое направлено на

оптимизацию сети по напряжению и реактивной мощности, что приводит к снижению потерь активной мощности и, соответственно, затрат электрической энергии на ее транспорт. Становление рыночных условий функционирования электроэнергетики в России и стремление в перспективе перейти к активно-адаптивному управлению требует повышения качества управления потоками реактивной мощности. Все это определяет необходимость поиска новых принципов и подходов к их управлению.

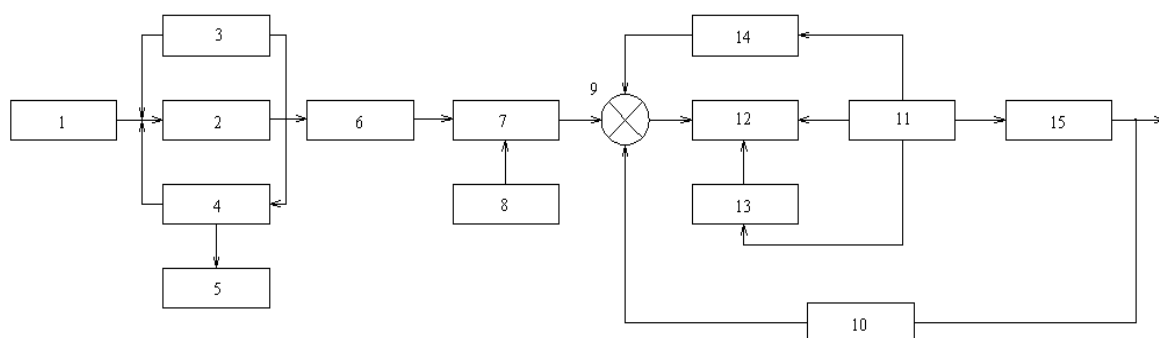
Проблема эффективного управления потоками реактивной мощности особенно сложно поддается решению в распределительных сетях напряжением 6-110 кВ, которые характеризуются значительной протяженностью, большим количеством линий и подстанций (ПС), высокой степенью схемно-режимной неопределенности. Неопределенность при решении задачи управления электрическими режимами обусловлена слабой обеспеченностью электрических сетей измерительными комплексами, стохастической природой электрических нагрузок, рыночными условиями функционирования электроэнергетических систем, человеческим фактором, а также изменением конфигураций схем электрических сетей в процессе эксплуатации.

Разрабатываемые комплексные электротехнические устройства компенсации статической и резкопеременной реактивной нагрузки должно быть multifunctional, применяемым в системах электроснабжения. Это техническое решение позволит повысить эффективность производства компенсации реактивной мощности в электрической сети, а также обеспечит стабилизацию напряжения на шинах потребителей, фильтрацию высших гармоник, симметрирование токов и напряжений в сети, и обеспечит экономию средств на оплату потребляемой предприятием электрической энергии.

Данная структура электротехнического комплекса включает несколько электротехнических устройств, совместная работа которых, путем определенного взаимодействия друг с другом, позволит регулировать напряжение в системе за счет регулирования потребления и выдачи реактивной мощности компенсатора, а также позволит уменьшить потери электроэнергии до 35 %.

Электропитающая система включает следующие электротехнические устройства, обеспечивающие снижение потерь электрической энергии: источник питания, трансформаторную подстанцию, управление конденсаторными батареями, блоки коммутации (рис. 1).

Данная конструкция (рис. 1) позволяет представить структуру потребления электроэнергии, регулировать нагрузки, снизить потери электрической энергии за счет уменьшения провалов напряжения, реактивной составляющей мощности, фильтрации гармоник, устранения перекоса фаз и несимметричности нагрузок, что позволит повысить коэффициент мощности.



**Рис. 1. Функциональная схема структурных связей электротехнических устройств, обеспечивающих снижение потерь электрической энергии: 1 – питающая сеть; 2 – трансформаторная подстанция; 3 – блок контроля несимметричности нагрузок; 4 – блок контроля перекоса фаз; 5 – блок коммутации; 6 – фильтр; 7 – множитель; 8 – блок токов кз; 9 – сумматор; 10 – блок вычисления; 11 – блок коммутации; 12 – блок управления конденсаторными батареями; 13 – блок конденсаторных батарей; 14 – блок контроля провалов напряжения; 15 – нагрузка**

На основании функциональной схемы структурных связей электротехнических устройств, обеспечивающих снижение потерь электрической энергии и исследования математической модели в ней переходных процессов и установленных зависимостей, разработана структурная схема функциональных связей электротехнических устройств, обеспечивающих снижение потерь электрической энергии в электропитающей системе (рис. 2).

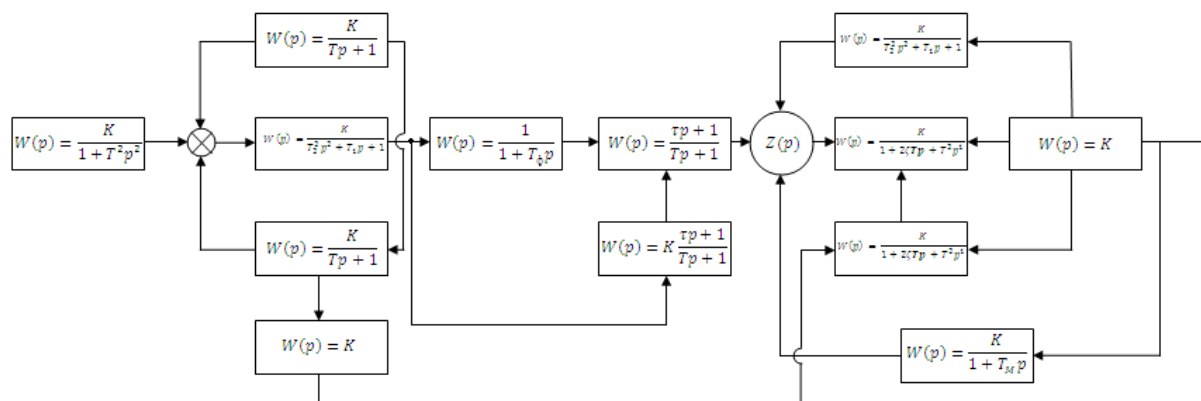
Определив общую передаточную функцию структурной схемы функциональных связей электротехнических устройств, обеспечивающих снижение потерь электрической энергии (рис. 2), составлено ее характеристическое уравнение и подставляя  $p = j\omega$ , получаем характеристическое уравнение в частотной области в виде

$$X(A_s, \Omega) + Y(A_s, \Omega)j = 0 \quad (1)$$

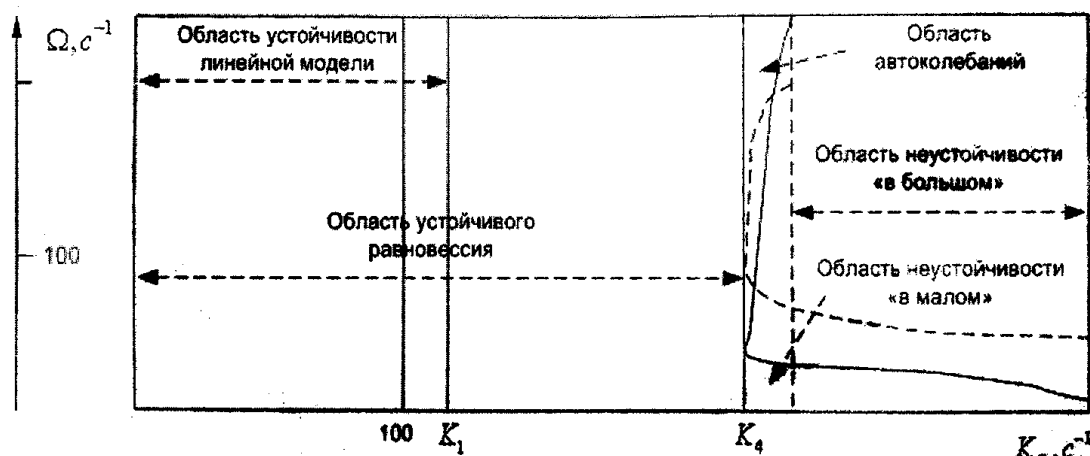
Решаем совместно систему

$$\begin{cases} X(A_s, \Omega) = 0; \\ Y(A_s, \Omega) = 0; \end{cases} \quad (2)$$

рассчитываем график областей устойчивости системы, который представлен на рис. 3 в виде границы устойчивости как функции двух параметров: амплитуды автоколебаний  $A_s$  и коэффициента добротности  $K_d$ .



**Рис. 2. Структурная схема функциональных связей электротехнических устройств, обеспечивающих снижение потерь электрической энергии**



**Рис. 3. Области устойчивости структурной схемы функциональных связей электротехнических устройств, обеспечивающих снижение потерь электрической энергии**

Из графика на рис. 3 видно, что область устойчивого равновесия функциональных связей электротехнических устройств, обеспечивающих снижение потерь электрической энергии при отсутствии управляющего воздействия расширяется, так как критический коэффициент добротности  $K_1$  больше критического коэффициента добротности линейной модели структуры функциональных связей электротехнических устройств электропитающих систем, обеспечивающих снижение потерь электрической энергии  $K_4$ , что подтверждает ее работоспособность.

### Список литературы

1. Адамоков Р.К. Методический подход к оценке эффективности экспортных проектов в электроэнергетике / Р.К. Адамоков. М.: Изд-во

ГУУ, 2002.

2. Быстрицкий Г.Ф. Энергосиловое оборудование промышленных предприятий: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. М.: Издательский центр "Академия", 2003. 304 с.

3. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие. М.: Высш. шк., 2001. 479 с.

4. Иванов В.С., Соколов В.И. Режимы потребления и качество электроэнергии систем электроснабжения промышленных предприятий. М.: Энергоатомиздат, 1987. 336с.

5. Нагорная В.Н. Экономика энергетики: учеб. пособие / Н.В. Нагорная; Дальневосточный государственный технический университет. Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2007. 157 с.

*Ядыкин Евгений Александрович, д-р техн. наук, проф., [energy@tsu.tula.ru](mailto:energy@tsu.tula.ru), Россия, Тула, Тульский государственный университет,*

*Базыль Илья Михайлович, асп., [energy@tsu.tula.ru](mailto:energy@tsu.tula.ru), Россия, Тула, Тульский государственный университет*

**DETERMINATION OF THE PERFORMANCE DEVICES ELECTRICAL COMPLEX TO  
REDUCE LOSSES OF ELECTRICITY**

*E.A. Yadykin, I.M. Bazyl*

*Addressed challenges and practices to ensure effective energy management.*

*Key words: electricity, electric power system, currents enregoeffektivnost, elektropotoki.*

*Yadykin Evgeny, doctor of technical sciences, professor, [energy@tsu.tula.ru](mailto:energy@tsu.tula.ru), Russia, Tula, Tula State University,*

*Bazyl Ilya Mikhailovich, postgraduate, [energy@tsu.tula.ru](mailto:energy@tsu.tula.ru), Russia, Tula, Tula State University*

## О РЕГУЛЯРНОСТИ И ПОЛНОТЕ ЗАДАЧ РАСПОЗНАВАНИЯ С РАВНОМОЩНЫМИ КЛАССАМИ

Ю.И. Горелов

*Получены необходимые и достаточные условия разрешимости и регулярности задач распознавания образов с равномоощными классами. Определены условия полноты задач распознавания с универсальными ограничениями относительно семейств алгоритмов специального вида.*

*Ключевые слова: распознавание образов, равномоощные классы, универсальные ограничения, разрешимость, регулярность, полнота.*

Рассмотрим задачи распознавания образов, о которых априори известно, что мощность любого из представленных в исходной информации подмножеств допустимых объектов, принадлежащих произвольному классу (в смысле теории распознавания образов), равна произвольному заранее фиксированному или вычисляемому по мощности набора прецедентов натуральному числу  $k$ .

Пусть определена размерность задачи распознавания с равномоощными классами, то есть заданы: число  $q \in N$  - объем контрольной выборки  $\tilde{S}^q$  допустимых объектов и число  $l \in N$  - число классов. Зафиксирована пара матриц  $(I, \tilde{I}) \in C_{q,l}(I) \times C_{q,l}(\tilde{I})$ , где  $I$  - матрица информации, а  $\tilde{I}$  - информационная матрица,  $C_{q,l}(A)$  - пространство прямоугольных матриц размерности  $(q \times l)$  над множеством  $A$ , а  $I$  и  $\tilde{I}$  множества (пространства) начальных и финальных информации, соответственно. В дальнейшем будем предполагать, что множество  $I$  произвольно, а множество  $\tilde{I}$  соответствует одному из следующих случаев:

а)  $\tilde{I} = \tilde{I}_1 = \{0,1\}$ ; то есть  $\tilde{I}$  двухэлементное множество; в этом случае

$$\tilde{I}_{ij} = P_j(S_i) \stackrel{df}{=} (S_i \in K_j); \quad (i, j) \in \{1, \dots, q\} \times \{1, \dots, l\};$$

здесь  $P_j(S_i)$  - предикат принадлежности допустимого объекта  $S_i$  классу  $K_j$ ;

б)  $\tilde{I} = \tilde{I}_2$ ; в этом случае предполагается, что отрицанию отношения принадлежности “ $\notin$ ” допустимого объекта  $S$  любому из классов  $K_1, K_2, \dots, K_l$  на “языке”  $\tilde{I}_2$  соответствует единственный элемент из  $\tilde{I}_2$ , который мы будем обозначать через  $0_f$ ; то есть в этом случае всегда справедлива импликация:

$$(S_i \notin K_j) \rightarrow (\tilde{I}_{ij} = 0_f); \quad (i, j) \in \{1, \dots, q\} \times \{1, \dots, l\}; \quad 0_f \in \tilde{I}_2.$$

Пусть из каких-либо дополнительных соображений зафиксирована

система универсальных ограничений  $I_s^u$  [1], то есть выделено подмножество допустимых алгоритмов распознавания, являющихся реализациями отображений, принадлежащих  $M[I_s^u] \subseteq M_*$ .

Кроме того априори известно, что

$$\text{card}(\tilde{\kappa}_i) = \text{card}(\tilde{\kappa}_j) = k \leq q; \quad (i, j) \in \{1, \dots, l\}^2; \quad \tilde{\kappa}_i = \kappa_i \cap \tilde{S}^q; \quad \tilde{S}^q = \{S^1, S^2, \dots, S^q\}; \quad (1)$$

здесь  $\tilde{S}^q$  - контрольная выборка допустимых объектов. Если кроме того априори известно, что при решении задачи распознавания рассматривается случай непересекаемости классов

$$\kappa_i \cap \kappa_j = \emptyset; \quad (i, j) \in \{1, \dots, l\}^2;$$

то (1) может быть записана в несколько ином виде

$$\text{card}(\tilde{\kappa}_i) = \text{card}(\tilde{\kappa}_j) = k = \frac{q}{l}; \quad (i, j) \in \{1, \dots, l\}^2. \quad (2)$$

Из соотношения (2) следует вывод о том, что размерность любой задачи распознавания с равномошными непересекающимися классами не может быть произвольной. Будем обозначать задачи распознавания с равномошными классами через  $Z[k]$ .

Перейдем теперь к выяснению вопросов разрешимости и регулярности задач распознавания с равномошными классами. Справедлива

**Лемма 1.** Произвольная матрица  $\tilde{I} \in C_{q,l}(\tilde{I})$  является информационной матрицей некоторой задачи распознавания с равномошными классами  $Z[k]$ , тогда и только тогда, когда размерность  $Z[k]$  равна  $(q, l)$  и

1) в случае непересекаемости классов и  $\tilde{I} = \tilde{I}_1$ :

- каждый столбец матрицы  $\tilde{I}$  содержит ровно  $k$  элементов, равных  $1$ , и  $(q - k)$  элементов, равных  $0$ , а каждая строка  $\tilde{I}$  содержит один элемент, равный  $1$ , а остальные  $(l - 1)$ , равные  $0$ ;

2) в случае непересекаемости классов и  $\tilde{I} = \tilde{I}_2$ :

- каждый столбец матрицы  $\tilde{I}$  содержит ровно  $(q - k)$  элементов, равных  $0_f$ , а остальные  $k$  элементов могут принимать любые значения из  $\tilde{I}_2 \setminus \{0_f\}$ , а каждая строка  $\tilde{I}$  содержит  $(l - 1)$  элемент, равный  $0_f$ , а оставшийся один, равный любому элементу из  $\tilde{I}_2 \setminus \{0_f\}$ ;

3) в случае пересекаемости классов и  $\tilde{I} = \tilde{I}_1$ :

- каждый столбец матрицы  $\tilde{I}$  содержит ровно  $k$  элементов, равных  $1$ , и  $(q - k)$  элементов, равных  $0$ ;

4) в случае пересекаемости классов и  $\tilde{I} = \tilde{I}_2$ :

- каждый столбец матрицы  $\tilde{I}$  содержит ровно  $(q - k)$  элементов, равных  $0_f$ , а остальные  $k$  элементов могут принимать любые значения из  $\tilde{I}_2 \setminus \{0_f\}$ .

Доказательство. Докажем, например, необходимость и достаточность условия. Доказательство остальных условий может быть проведено аналогичными рассуждениями.

**Необходимость.** Во-первых, ввиду условия равенства размерности произвольной задачи распознавания  $Z$  и матрицы  $\tilde{I}$  следует, что  $Z$  может быть задана в виде задачи распознавания со стандартной обучающей информацией  $Z = Z(q, l, I, \tilde{I}', j, \tilde{I}_1, M[I_s^n])$ , причем  $\tilde{I}' \in C_{q,l}(\tilde{I}_1)$ . Покажем теперь, что условие непересекаемости и равномогности классов приводит к тому, что  $\tilde{I}'$  должна удовлетворять условиям 1). Так как каждому классу  $k_i$  задачи распознавания соответствует  $i$ -й столбец информационной матрицы  $\tilde{I}'$  и кроме того для  $\tilde{I}_1$  справедливо (1), то требование равномогности классов (2), приводит к тому, что  $i$ -й столбец информационной матрицы  $\tilde{I}'$  должен содержать ровно  $k$  элементов, равных 1. Так как  $\tilde{I}_1$  двухэлементное множество, то остальные  $(q - k)$  элементов  $i$ -го столбца должны быть равны отличному от 1 элементу множества  $\tilde{I}_1$  то есть 0. Условие непересекаемости классов приводит к требованию того, чтобы произвольный допустимый объект, описание которого присутствует в матрице информации  $I$ , должен принадлежать только одному из классов, а это в свою очередь, ввиду справедливости (1), приводит к требованию, чтобы только один элемент произвольной строки информационной матрицы был равен 1. Так как  $\tilde{I}_1$  двухэлементное множество, то остальные  $(l - 1)$  элементов этой строки должны быть равны отличному от 1 элементу множества  $\tilde{I}_1$  то есть 0.

**Достаточность.** Пусть матрица  $\tilde{I}'$  удовлетворяет условиям леммы. Тогда, выбирая произвольное множество  $l$ , а затем произвольную матрицу  $I \in C_{q,l}(l)$  той же размерности, что и  $\tilde{I}'$ , и выделяя некоторое произвольное множество отображений из  $C_{q,l}(l)$  в  $C_{q,l}(\tilde{I}_1)$ , обозначаемое  $M[I_s^n]$ , мы можем сформулировать быт может неразрешимую задачу распознавания со стандартной обучающей информацией:  $Z = Z(q, l, I, \tilde{I}', j, \tilde{I}_1, M[I_s^n])$ . Покажем, что эта задача распознавания является задачей с равномогными непересекающимися классами  $Z[k]$ . Так как для произвольного столбца  $\tilde{I}'^j$  матрицы  $\tilde{I}'$  справедливо соотношение

$$\text{card}(\tilde{I}'^j(1)) = k; \text{card}(\tilde{I}'^j(0)) = q - k;$$

$$\tilde{I}'^j(0) = \{\tilde{I}'_{ij} \in \tilde{I}'^j \mid \tilde{I}'_{ij} = 0, i \in \{1, \dots, q\}\}; \tilde{I}'^j(1) = \{\tilde{I}'_{ij} \in \tilde{I}'^j \mid \tilde{I}'_{ij} = 1, i \in \{1, \dots, q\}\};$$

то, ввиду справедливости (1) и того, что столбец  $\tilde{I}'^j$  характеризует  $\tilde{K}_j$ ,  $\text{card}(\tilde{K}_j) = k$ , что ввиду произвольности выбора  $j$  приводит к выполнимости (2), то есть задача  $Z$  является задачей с равномогными классами. Для произвольной строки  $\tilde{I}'_i$  матрицы  $\tilde{I}'$  из условий леммы следует, что

$$\text{card}(\tilde{I}'_i(1)) = 1; \text{card}(\tilde{I}'_i(0)) = l - 1;$$

$$\tilde{I}'_i(0) = \{\tilde{I}'_{ij} \in \tilde{I}'^j \mid \tilde{I}'_{ij} = 0, j \in \{1, \dots, l\}\}; \tilde{I}'_i(1) = \{\tilde{I}'_{ij} \in \tilde{I}'^j \mid \tilde{I}'_{ij} = 1, j \in \{1, \dots, l\}\}.$$

Но тогда это означает, что произвольный  $i$ -й допустимый объект контрольной выборки принадлежит только одному из классов, а это в свою очередь эквивалентно выполнимости условия непересекаемости классов. Лемма доказана.

Из леммы 1 следует следующий важный вывод: класс регулярных задач распознавания с равномоными классами не совпадает с орбитой регулярной задачи, возникающей при произвольном варьировании информационной матрицы. Поэтому хотелось бы выяснить, каким образом для рассматриваемого в настоящем параграфе случая равномоности классов возникает орбита регулярной задачи, совпадающая с классом регулярных задач.

Обозначим через  $\sigma_0$  - симметрическую группу, состоящую из всех подстановок (биекций) множества  $T_q = \{1, 2, \dots, q\}$ . Пусть  $A$  - произвольное множество,  $A$  - произвольная матрица пространства  $C_{ql}(A)$ , а  $s$  - произвольная подстановка из множества  $T_q$ , то есть подстановка из группы  $\sigma_0$ . Определим действие подстановки  $s$  на матрице  $A$  следующим равенством

$$s(A) = s(\|a_{ij}\|_{q \times l}) = \|a'_{ij}\|_{q \times l} = A' \in C_{ql}(A);$$

где  $a'_{ij} = a_{s(i)j}$ ,  $i \in \{1, \dots, q\}$ ,  $j \in \{1, \dots, l\}$ . Пусть  $\sigma_0^l$  -  $l$ -я декартова степень группы  $\sigma_0$ , а  $\vec{s} = (s_1, s_2, \dots, s_l)$  - произвольный элемент из  $\sigma_0^l$ ,  $s_i \in \sigma_0$ ,  $i \in \{1, \dots, l\}$ . Если  $A$  - произвольное множество,  $A$  - произвольная матрица пространства  $C_{ql}(A)$ , а  $\vec{s}$  - произвольная подстановка из множества  $(T_q)^l$ , то есть подстановка из  $(\sigma_0)^l$ . Определим действие подстановки  $\vec{s}$  на матрице  $A$  следующим равенством

$$\vec{s}(A) = \vec{s}(\|a_{ij}\|_{q \times l}) = \|a''_{ij}\|_{q \times l} = A'' \in C_{ql}(A); \quad (3)$$

где

$$a''_{ij} = a_{s_j(i)j}, \quad i \in \{1, \dots, q\}, \quad j \in \{1, \dots, l\}, \quad \vec{s} = (s_1, s_2, \dots, s_l). \quad (4)$$

Нетрудно заметить, что действие группы  $\sigma_0$  на матрице  $A$  индуцирует произвольные перестановки строк матрицы, а действие группы  $(\sigma_0)^l$  - произвольные и независимые перестановки элементов каждого из столбцов матрицы  $A$ . Отметим, что соотношения (3) и (4), ввиду произвольности матрицы  $A$ , определяет действие подстановок из  $\sigma_0$  и  $(\sigma_0)^l$  на пространстве матриц  $C_{ql}(A)$ . В дальнейшем нам понадобятся следующие леммы.

**Лемма 2.** Пусть  $A \in C_{q,l}(\tilde{\Gamma}_1)$  - произвольная матрица. Тогда число единичных (нулевых) элементов в любом столбце матрицы  $A$  является инвариантом относительно действия  $\sigma_0$  и  $(\sigma_0)^l$  на  $A$ .

**Лемма 3.** Пусть  $A \in C_{q,l}(\tilde{\Gamma}_1)$  - произвольная матрица, у которой число единичных элементов в любой строке одинаково и равно  $\gamma$ . Тогда  $\gamma$  является инвариантом относительно действия  $\sigma_0$  на  $A$ .

Из лемм 1, 2 и 3 следует справедливость следующей леммы.

**Лемма 4.** Пусть  $\tilde{I} \in C_{q,l}(\tilde{\Gamma}_1)$  - информационная матрица произвольной задачи распознавания с равномошными классами. Тогда, в случае непересекаемости классов действие  $\sigma_0$  на  $\tilde{I}$  не выводит ее за пределы класса  $Z'[k]$ , а в случае пересекаемости классов действие  $(\sigma_0)^l$  на  $\tilde{I}$  не выводит ее за пределы класса  $Z[k]$ . Здесь  $Z'[k]$  и  $Z[k]$  - классы задач распознавания с равномошными непересекающимися или пересекающимися классами. Оказывается, что справедливо более сильное утверждение.

**Лемма 5.** Пусть  $Z[k]$  произвольная регулярная задача распознавания с равномошными классами,  $\tilde{I}$  - ее информационная матрица, и кроме того справедливо  $\tilde{\Gamma} = \tilde{\Gamma}_1$ . Тогда орбита задачи  $Z[k]$ , совпадающая с классом регулярных задач  $Z_{[R]}[k]$ , возникает:

- в случае непересекаемости классов - действием  $\sigma_0$  на  $\tilde{I}$ ;
- в случае пересекаемости классов - действием  $(\sigma_0)^l$  на  $\tilde{I}$ .

**Доказательство.** Из леммы 4 следует, что  $s(\tilde{I})$  для любой  $s \in \sigma_0$  в случае пересекаемости классов и  $\bar{s}(\tilde{I})$  для любой  $\bar{s} \in (\sigma_0)^l$  в случае непересекаемости классов, будут информационными матрицами некоторых задач распознавания с равномошными непересекающимися и пересекающимися классами. Поэтому нам надо только показать, что для произвольной задачи распознавания  $Z'[k] \in Z_{[R]}[k]$ , отличающейся от  $Z[k]$  своей информационной матрицей  $\tilde{I}'$ , в случае непересекаемости классов существует такая подстановка  $s \in \sigma_0$ , что  $s(\tilde{I}) = \tilde{I}'$ , а в случае пересекаемости классов существует такая вектор-подстановка  $\bar{s} \in (\sigma_0)^l$ , что  $\bar{s}(\tilde{I}) = \tilde{I}'$ .

Рассмотрим случай непересекаемости классов. Так как любая подстановка  $s \in \sigma_0$  может быть представлена в виде  $s' = \tau_1 \cdot \tau_2 \cdots \tau_p$ , где  $\tau_i$  - транспозиции,  $i \in \{1, \dots, p\}$ , то будем формировать  $s$  в виде произведения транспозиций. Последовательно сравнивая строки информационных матриц  $\tilde{I}$  и  $\tilde{I}'$ , будем поступать следующим образом. Если  $i$ -е строки матриц совпадают, то  $\tau_i = e$  ( $e$  - тождественная подстановка), иначе находим среди строк матрицы  $\tilde{I}$  с номерами  $i_1 > i$  такую, что  $i_1$ -я строка матрицы  $\tilde{I}$  будет совпадать с  $i$ -й строкой матрицы  $\tilde{I}'$  (такая строка обя-

зательно существует, что нетрудно показать, используя результаты леммы 1, тогда  $\tau_i = \tau'$ , где  $\tau'$  - транспозиция, удовлетворяющая  $\tau'(i) = i_1, \tau'(i_1) = i$ . Тогда по построению для  $s' = \tau_1 \cdot \tau_2 \cdots \tau_q$  автоматически выполняется  $s'(\tilde{I}) = \tilde{I}'$ . Так как  $\tilde{I}'$  информационная матрица произвольной регулярной задачи распознавания  $Z'[k] \in Z_{[R]}[k]$ , то орбита регулярной задачи  $Z[k]$ , совпадающая с классом регулярных задач  $Z_{[R]}[k]$ , возникает в результате действия группы  $\sigma_0$  на информационную матрицу  $\tilde{I}$  задачи  $Z[k]$ .

Рассмотрим случай пересечения классов. Пусть  $Z'[k] \in Z_{[R]}[k]$  - произвольная регулярная задача распознавания с равномошными пересекающимися классами, отличающаяся от  $Z[k]$  своей информационной матрицей  $\tilde{I}'$ . Покажем, что существует такая  $\bar{s} \in (\sigma_0)^l$ , что  $\bar{s}(\tilde{I}) = \tilde{I}'$ . Пусть  $\tilde{I}^j$  и  $\tilde{I}'^j$  произвольные  $j$ -е столбцы матриц  $\tilde{I}$  и  $\tilde{I}'$ , соответственно. Последовательно сравнивая элементы этих столбцов, будем формировать  $j$ -ю компоненту  $s_j$  вектор-подстановки  $\bar{s}$  следующим образом:

при  $\tilde{I}_{i,j} = \tilde{I}'_{i,j}$ , берем  $\tau_i^j = e$ ;

при  $\tilde{I}_{i,j} \neq \tilde{I}'_{i,j}$ , находим для  $i_2 > i_1$  такой элемент  $\tilde{I}_{i_2,j}$ , что  $\tilde{I}_{i_2,j} = \tilde{I}'_{i,j}$  (такой элемент обязательно существует, что нетрудно показать, используя лемму 1), тогда в качестве  $\tau_i^j$  берем такую транспозицию  $\tilde{\tau}$ , для которой  $\tilde{\tau}(i_2) = i_1, \tilde{\tau}(i_1) = i_2$ . В конечном итоге будет сформирована такая подстановка  $s_j = \prod_{i=1}^q \tau_i^j$ , для которой  $\tilde{I}'^j = s_j(\tilde{I}^j)$ . Перебирая все столбцы матриц  $\tilde{I}$  и  $\tilde{I}'$ , и формируя подстановки  $s_1, s_2, \dots, s_l$  таким же образом, как указано выше, в конечном итоге получим вектор-подстановку  $\bar{s} = (s_1, s_2, \dots, s_l)$  для которой по построению автоматически выполняется  $\bar{s}(\tilde{I}) = \tilde{I}'$ . Ввиду произвольности задачи  $Z'[k] \in Z_{[R]}[k]$  из последнего соотношения следует вывод о том, что действие  $(\sigma_0)^l$  на информационную матрицу  $\tilde{I}$  задачи  $Z[k]$  порождает орбиту задачи, совпадающую с классом регулярных задач распознавания с пересекающимися равномошными классами  $Z_{[R]}[k]$ . Лемма доказана.

Аналогичным образом можно доказать справедливость следующего утверждения.

**Лемма 6.** Пусть  $Z[k]$  произвольная регулярная задача распознавания с равномошными классами,  $\tilde{I}$  - ее информационная матрица, и кроме того справедливо  $\tilde{I} = \tilde{I}_2$ . Тогда орбита задачи  $Z[k]$ , совпадающая с

классом регулярных задач  $Z_{[R]}[k]$ , возникает:

в случае непересекаемости классов - действием  $\sigma_0$  на  $\tilde{I}$  и произвольной вариацией ее ненулевых элементов в пределах множества  $\tilde{I}_2 \setminus \{0_f\}$ ;

в случае пересекаемости классов – действием  $(\sigma_0)^l$  на  $\tilde{I}$  и произвольной вариацией ее ненулевых элементов в пределах множества  $\tilde{I}_2 \setminus \{0_f\}$ .

Из лемм 5 и 6 автоматически получается следующий важный вывод.

**Теорема 1.** Задача распознавания с равномошными классами  $Z[k]$  и универсальными ограничениями  $I_s^u$  будет полной относительно модели алгоритмов  $M[I_s^u]$ :

- в случае пересекаемости классов, если

$$M[I_s^u](I) = Hom_{\Psi}(C_{q,l}(I), C_{q,l}(\tilde{I}_1))(I) = \bigcup_{\bar{s} \in (\sigma_0)^l} \bar{s}(I_0) \subset C_{q,l}(\tilde{I}_1);$$

$$M[I_s^u](I) = Hom_{\Psi}(C_{q,l}(I), C_{q,l}(\tilde{I}_2))(I) = \bigcup_{\substack{I_{ij}^0 \neq 0_f; \\ \tilde{I}_{ij}^0 \in \tilde{I}_2 \setminus \{0_f\}}} \bigcup_{\bar{s} \in (\sigma_0)^l} \bar{s}(I_0) \subset C_{q,l}(\tilde{I}_2);$$

- в случае непересекаемости классов, если

$$M[I_s^u](I) = Hom_{\Psi}(C_{q,l}(I), C_{q,l}(\tilde{I}_1))(I) = \bigcup_{s \in \sigma_0} s(I_0) \subset C_{q,l}(\tilde{I}_1);$$

$$M[I_s^u](I) = Hom_{\Psi}(C_{q,l}(I), C_{q,l}(\tilde{I}_2))(I) = \bigcup_{\substack{\tilde{I}_{ij}^0 \neq 0_f; \\ I_{ij}^0 \in \tilde{I}_2 \setminus \{0_f\}}} \bigcup_{s \in \sigma_0} s(I_0) \subset C_{q,l}(\tilde{I}_2);$$

где  $\tilde{I}_0$  – произвольная матрица из  $C_{q,l}(\tilde{I})$ , удовлетворяющая условиям леммы 1. Отметим, что при этом  $\tilde{I}$  равно  $\tilde{I}_1$  или  $\tilde{I}_2$ .

Определим теперь действие подстановок  $s \in \sigma_0$  и  $\bar{s} \in (\sigma_0)^l$  на пространстве наборов матриц  $C_{q,l}^p(A)$ ,  $p \in N$ :

$$s(A_1, A_2, \dots, A_p) = (s(A_1), s(A_2), \dots, s(A_p));$$

$$\bar{s}(A_1, A_2, \dots, A_p) = (\bar{s}(A_1), \bar{s}(A_2), \dots, \bar{s}(A_p));$$

где

$$(A_1, A_2, \dots, A_p) \in C_{q,l}^p(A).$$

Сопоставим теперь  $\sigma_0$  и  $(\sigma_0)^l$  подкатегории  $\Sigma_0$  и  $\Sigma_0^l$  категории  $\Psi_{q,l}$ , полагая:

$$1) Ob\Sigma_0 = Ob\Sigma_0^l = Ob\Psi_{q,l};$$

2) для любых  $A$  и  $B$  и  $(p_1, p_2) \in N^2$ , определяя множество морфизмов

$$\text{Hom}_{\Sigma_0}(C_{q,l}^{p_1}(A), C_{q,l}^{p_2}(B)) = \{u \mid u: C_{q,l}^{p_1}(A) \rightarrow C_{q,l}^{p_2}(B), u(s(A_1, \dots, A_{p_1})) = s(u(A_1, \dots, A_{p_1})), \forall (A_1, \dots, A_{p_1}) \in C_{q,l}^{p_1}(A), \forall s \in \sigma_0\};$$

$$\text{Hom}_{\Sigma_0^l}(C_{q,l}^{p_1}(A), C_{q,l}^{p_2}(B)) = \{u \mid u: C_{q,l}^{p_1}(A) \rightarrow C_{q,l}^{p_2}(B), u(\bar{s}(A_1, \dots, A_{p_1})) = \bar{s}(u(A_1, \dots, A_{p_1})), \forall (A_1, \dots, A_{p_1}) \in C_{q,l}^{p_1}(A), \forall \bar{s} \in (\sigma_0)^l\}.$$

Напомним, что объектами категории  $\Psi_{q,l}$  являются пространства  $q \times l$ -матриц над произвольными множествами и все конечные декартовы степени таких пространств.

Нетрудно показать, что категории  $\Sigma_0$  и  $\Sigma_0^l$  есть допустимые и полные категории, и при этом они являются формальным описанием некоторых систем симметрических универсальных ограничений для алгоритмов распознавания, выражающих реальную информацию о различного рода однородности данных об объектах и классах.

Пусть теперь  $Z[k]$  - некоторая разрешимая задача распознавания с равномоными непересекающимися классами, причем  $\tilde{I} = \tilde{I}_1$ , а ее универсальные ограничения  $I_s^u$  могут быть формально описаны категорией  $\Sigma_0$ . Тогда из условия разрешимости  $Z[k]$  следует, что существует такое отображение  $u \in \text{Hom}_{\Sigma_0}(C_{q,l}(I), C_{q,l}(\tilde{I}_1))$  для которого

$$u(I) = \tilde{I},$$

где  $I, \tilde{I}$  - матрица информации и информационная матрица задачи  $Z[k]$ , соответственно. Пусть  $\tilde{I}' \in C_{q,l}(\tilde{I}_1)$  некоторая  $q \times l$ -матрица, удовлетворяющая условиям леммы 1 и  $Z'[k]$  - разрешимая задача распознавания, отличающаяся от  $Z[k]$  только информационной матрицей, равной  $\tilde{I}'$ . Тогда существует  $v \in \text{Hom}_{\Sigma_0}(C_{q,l}(I), C_{q,l}(\tilde{I}_1))$ , для которого  $v(I) = \tilde{I}'$ .

Из результатов леммы следует, что существует такая подстановка  $s$  из группы  $\sigma_0$ , что  $s(\tilde{I}) = \tilde{I}'$ , или  $v(I) = \tilde{I}' = s(\tilde{I})$ .

Учитывая, что  $\sigma_0$  группа, то есть для любой подстановки  $s \in \sigma_0$  существует  $s^{-1} \in \sigma_0$ , что  $s^{-1} \cdot s = e$ , и, что отображение  $v$  коммутирует со всеми подстановками группы  $\sigma_0$ , имеем

$$s^{-1}(v(I)) = v(s^{-1}(I)) = v(s'(I)) = v(I') = \tilde{I}.$$

Введем следующие обозначения

$$\{u_s\}_{\sigma_0} = \{u_s \mid u_s \in \text{Hom}_{\Sigma_0}(C_{q,l}(I), C_{q,l}(\tilde{I}_1)), u_s(s(I)) = \tilde{I}_0, s \in \sigma_0, \tilde{I}_0 \in C_{q,l}(\tilde{I}_1), I \in C_{q,l}(I)\};$$

где  $\tilde{I}_0$  - некоторая фиксированная матрица пространства  $C_{q,l}(\tilde{I}_1)$ , удовлетворяющая условиям леммы, а  $I$  - некоторая фиксированная матрица пространства  $C_{q,l}(I)$ .

Тогда условие полноты задачи  $Z[k]$  относительно  $M[I_s] = Hom_{\Sigma_0}(C_{q,l}(I), C_{q,l}(\tilde{I}_1))$  может быть записано в виде

$$\bigcup_{s \in \sigma_0} u_s(I) = \{\tilde{I}_0\},$$

где  $\{\tilde{I}_0\}$  - одноточечное множество.

Откуда следует, что одноэлементное множество  $\{I_0\}$ , где  $I_0 \in C_{q,l}(I)$ , является одноэлементной базой категории  $\Sigma_0$ , тогда и только тогда, когда при любой  $s \neq e$  из  $\sigma_0$  выполнено соотношение  $s(I_0) \neq I_0$ . Отсюда автоматически следует вывод о том, что матрица  $I_0$  будет одноэлементной базой категории  $\Sigma_0$ , если все ее строки попарно различны.

Аналогичными рассуждениями можно показать, что при пересекании классов условие полноты задачи  $Z[k]$  относительно  $M[I_s] = Hom_{\Sigma_0^l}(C_{q,l}(I), C_{q,l}(\tilde{I}_1))$  имеет вид:

$$\bigcup_{\bar{s} \in (\sigma_0)^l} u_{\bar{s}}(\bar{s}(I)) = \{\tilde{I}_0\},$$

где

$$\begin{aligned} \{u_{\bar{s}}\}_{(\sigma_0)^l} &= \{u_{\bar{s}} \mid u_{\bar{s}} \in Hom_{\Sigma_0^l}(C_{q,l}(I), C_{q,l}(\tilde{I}_1)), u_{\bar{s}}(\bar{s}(I)) = \tilde{I}_0, \\ &\bar{s} \in (\sigma_0)^l, \tilde{I}_0 \in C_{q,l}(\tilde{I}_1), I \in C_{q,l}(I)\}. \end{aligned}$$

Из результатов работ [1] и [2] следует, что одноэлементное множество  $\{I_0\}$ , где  $I_0 \in C_{q,l}(I)$ , является одноэлементной базой категории  $\Sigma_0^l$ , тогда и только тогда, когда при любой  $\bar{s} \neq (e, \dots, e)$  из  $(\sigma_0)^l$  выполнено соотношение  $\bar{s}(I_0) \neq I_0$ . Отсюда автоматически следует вывод о том, что матрица  $I_0$  будет одноэлементной базой категории  $\Sigma_0^l$ , если элементы любого ее столбца будут попарно различны.

Пусть теперь определена задача распознавания с равномошными классами  $Z[k]$ , причем в случае пересекемости классов в качестве формального описания ее универсальных ограничений используется категория  $\Sigma_0^l$ , а в случае непересекемости классов – категория  $\Sigma_0$ .

**Теорема 2.** Для регулярности задачи  $Z[k]$  при  $\tilde{\Gamma} = \tilde{\Gamma}_1$ , достаточно: в случае непересекемости классов, чтобы все строки ее матрицы информации  $I$  были попарно различны;

в случае пересекемости классов, чтобы элементы любого столбца ее матрицы информации  $I$  были попарно различны.

**Теорема 3.** Для того, чтобы модель алгоритмов  $M$  была полна в смысле разрешимости всех регулярных задач из класса  $Z_{[R]}[k]$  достаточно:

в случае пересекемости классов при условии формального описания ее универсальных ограничений категорией  $\Sigma_0^l$ , чтобы  $M$  удовлетво-

рjala включению  $m \supseteq \bigcup_{I \in \{I\}_{\Sigma_0}} \bigcup_{s \in (\sigma_0)^I} \{u_s^I\}$ ; где  $u_s^I$  - отображения из

$Hom_{\Sigma_0^I}(C_{q,I}(l), C_{q,I}(\tilde{l}_1))$ , удовлетворяющие условию  $u_s^I(\bar{s}(I)) = \tilde{l}_0$ ;

в случае непересекаемости классов при условии формального описания ее универсальных ограничений категорией  $\Sigma_0$ , чтобы  $m$  удовлетворяла включению  $m \supseteq \bigcup_{I \in \{I\}_{\Sigma_0}} \bigcup_{s \in \sigma_0} \{u_s^I\}$ ; где  $u_s^I$  - отображения из

$Hom_{\Sigma_0}(C_{q,I}(l), C_{q,I}(\tilde{l}_1))$ , удовлетворяющие условию  $u_s^I(s(I)) = \tilde{l}_0$ .

## Список литературы

1. Рудаков К.В. Об алгебраической теории универсальных и локальных ограничений для задач классификации // Распознавание, классификация, прогноз. М.: Наука, 1989. С. 176-201.
2. Журавлев Ю.И. Об алгебраическом подходе к решению задач распознавания или классификации // Проблемы кибернетики. М.: Наука, 1978. В. 33. С. 5-68.

Горелов Юрий Иосифович, канд. техн. наук, доц., [gor\\_tula@rambler.ru](mailto:gor_tula@rambler.ru), Россия, Тула, Тульский государственный университет

## ON THE REGULARITY AND COMPLETENESS OF PATTERN RECOGNITION PROBLEM WITH EQUICARDINAL CLASSES

Y.I.Gorelov

Necessary and sufficient conditions for solvability and regularity of pattern recognition problems with equicardinal classes are founded. The conditions for the completeness of recognition problems with universal restrictions in the families of algorithms with a special structure are defined.

Key words: pattern recognition, equicardinal classes, universal restrictions, solvability, regularity, completeness.

Gorelov Yury Iosifovich, candidate of technical science, docent, [gor\\_tula@rambler.ru](mailto:gor_tula@rambler.ru), Russia, Tula, Tula State University

УДК 621.323

## **ПРИМЕНЕНИЕ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ИХ РАБОТЫ**

С.В. Ершов, А.М. Дмитриев

*Рассмотрены вопросы применения диагностических комплексов систем электроснабжения, характеристики, структура и их влияние на показатели систем электроснабжения.*

*Ключевые слова:* электроснабжение, диагностические комплексы, надежность электроснабжения.

Диагностика – область знаний, охватывающая теорию, методы и средства определения технического состояния объектов.

Диагностирование – определение технического состояния объекта.

Мониторинг – контроль объекта с заданной степенью регулярности.

Техническая диагностики - отрасль научно-технических знаний, сущность которой составляют теории, методы и средства обнаружения и поиска дефектов в объектах технической природы. Под дефектами следует понимать любое несоответствие свойств объекта заданным (требуемым или ожидаемым) свойствам. Установление каким-либо способом факта несоответствия называют обнаружением дефекта.

Основное назначение технической диагностики состоит в повышении эксплуатационной надежности объектов, а также в предотвращении брака при изготовлении, как самого объекта, так и составляющих его частей. Повышение надежности обеспечивается улучшением таких показателей, как коэффициент готовности, коэффициент технического использования, время восстановления работоспособного состояния, а также ресурс (срок службы) и наработка до отказа или наработка на отказ для резервированных объектов с восстановлением.

Если в текущий момент реальной времени использования объекта по назначению его параметры (признаки) находятся в требуемых пределах, то такой объект является правильно функционирующим.

Техническое состояние неправильно функционирующей, неисправного или неработоспособного объекта может быть детализировано путем обнаружения конкретных дефектов, нарушающих исправность, работоспособность или правильность функционирования, причем дефекты эти могут относиться как к объекту в целом, так и к его составным частям.

Обнаружение и поиск дефектов являются процессами определения технического состояния объекта и объединяются общим термином "диагностирование". По результатам диагностирования ставится диагноз. Задачами диагностирования являются проверка исправности, работоспособно-

сти и правильности функционирования объекта, а также поиск дефектов, нарушающих ни показатели. Строгая постановка таких задач предполагает, во-первых, прямое или косвенное задание класса возможных дефектов и, во-вторых, наличие формализованных методов построения алгоритмов диагностирования, реализация которых обеспечивает или обнаружение дефектов из заданного класса с требуемой полнотой, или поиск дефектов с требуемой глубиной.

Диагностирование технического состояния любого объекта осуществляется теми или иными средствами. Средства могут быть аппаратными или программными. Средства и объект диагностирования, взаимодействующие между собой, образуют систему диагностирования.

В системах тестового диагностирования на объект подаются специально организуемые тестовые воздействия. В системах функционального диагностирования, которые работают в процессе применения объекта по назначению, подача тестовых воздействий, как правило, исключается; на объект поступает только рабочее воздействие, предусмотренное его алгоритмом функционирования. В системах обоих видов средств диагностирования воспринимают и анализируют ответы объекта на входные (тестовые или рабочие) воздействия и выдают результат диагностирования, т.е. ставят диагноз: объект исправен или неисправен, работоспособен или неработоспособен, функционирует правильно или неправильно, имеет какой-нибудь дефект или в объекте повреждена какая-то его составная часть и тому подобное.

Система диагностирования в процессе определения технического состояния объекта реализует некоторый алгоритм тестового или функционального диагностирования. Алгоритм диагностирования в общем случае состоит из определенной совокупности так называемых элементарных проверок и правил анализа их результатов. Результатом экспериментальной проверки являются конкретные значения ответных сигналов объекта в соответствующих контрольных точках. Окончательное заключение о техническом состоянии объекта (диагноз) делается в общем случае по совокупности полученных результатов экспериментальных проверок.

Недостаточная электродинамическая стойкость обмоток трансформатора при протекании токов короткого замыкания, приводящая к механическим деформациям обмоток, является одной из основных причин аварийного выхода трансформатора из строя. Эта проблема усугубляется значительным увеличением доли изношенного электрооборудования, нормируемый срок службы которого уже истек или приближается к этому.

В настоящее время в России для диагностики механического состояния моток силовых трансформаторов в основном применяются два метода: метод измерения сопротивления короткого замыкания и более чувствительный метод - метод низковольтных импульсов (НВИ). За рубежом широкое распространение получил метод частотного анализа (МЧА). Дос-

тоинством МЧА является хорошая воспроизводимость измерений, обусловленная меньшей чувствительностью к некоторым изменениям параметров генератора сигналов, влиянию кабелей, соединителей и тому подобное.

Известны два подхода при диагностике обмоток трансформатора методом частотного анализа. Суть первого подхода заключается в том, что от свип-генератора на ввод обмотки подается синусоидальный сигнал с изменяющейся частотой от десятков герц до нескольких мегагерц, а с измерительных шунтов, подключенных к этой или другим обмоткам, осциллографируются их реакции на воздействие этого сигнала - амплитудно-частотные характеристики  $A(F)$ , то есть спектры частот.

При другом подходе на ввод обмотки подается стандартный импульс определенной длительности, а сигнал с измерительных шунтов подается на вход спектроанализатора. Поскольку этот подход требует дорогостоящего оборудования и связан с более сложной и длительной процедурой диагностики, при разработке новой методики диагностики в ВЭИ за основу был выбран первый подход, в результате чего была разработана и изготовлена диагностическая установка "Импульс-8С".

Программное обеспечение, разработанное для Windows и содержит 3 функциональных блока:

1) Блок управления съемом обеспечивает формирование базы данных, тестирование измерительной схемы, управление съемом (установку параметров измерений, выбор каналов измерений, переключение каналов).

2) Блок предварительной обработки и визуализации результатов измерений обеспечивает фильтрацию от помех, статистическую обработку сигналов, запись сигналов в базу данных, вывод результатов измерений – амплитудно-частотных характеристик объекта на экран монитора.

3) Блок анализа результатов диагностики обеспечивает сравнение осциллограмм текущих измерений (дефектограмм) с осциллограммами предшествующих измерений по ряду критериев.



**Рис. 1. Диагностическая установка "Импульс-8С" для дефектографирования обмоток трансформаторов методом частотного анализа**

Основными критериями оценки механического состояния обмоток трансформатора методом МЧА были приняты следующие:

1) коэффициент парной корреляции ( $K_p$ )

- характеризует степень отклонения связи от линейной между двумя массивами данных, описывающих два процесса, например, нормограмму и дефектограмму. Так, если две осциллограммы полностью совпадают; то  $K_p=1$ ; чем больше отличие между двумя спектрами, тем меньше  $K_p$ ;

2) разность осциллограмм ( $V, \%$ )

- характеризует разность между нормограммой и дефектограммой во всем диапазоне их изменения во времени, выраженную в процентах (относенную к нормограмме) или в вольтах;

3) парная корреляционная функция  $K_p(f)$

- показывает, в каком именно диапазоне частот появились значительные изменения;

4) весовой коэффициент  $K(v)$

- интегральный параметр, показывающий степень различия нормограммы от дефектограммы;

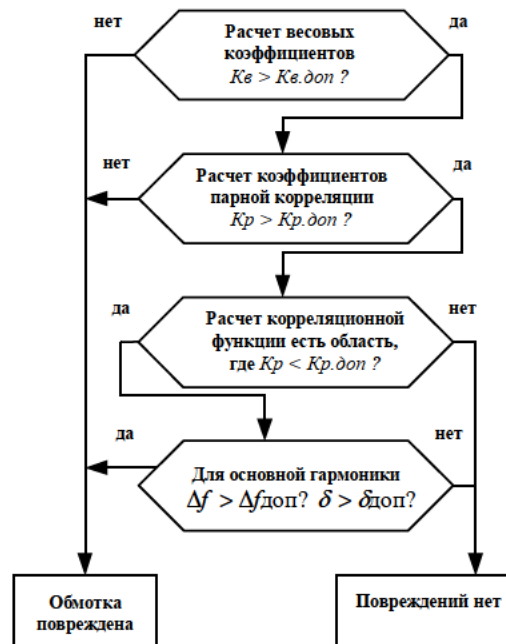
5) сдвиг частот ( $f$ )

- характеризует величину смещения пиков основных частот (гармоник) нормограммы и дефектограммы.

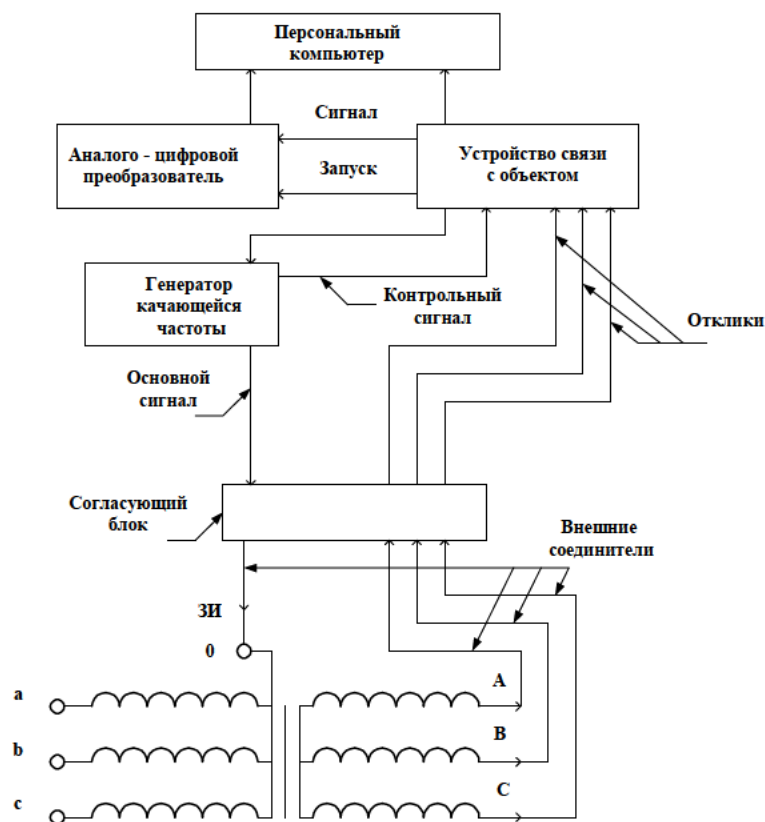
Процедура диагностики производится следующим образом: После запуска программы и выбора из предложенного меню команды "Старт" плата блока управления формирует сигнал на запуск генератора качающейся частоты и аналого-цифрового преобразователя. С выхода генератора сигнал с начальной частотой  $F_0$  проходит по измерительному кабелю, согласующий блок, установленный на крышке бака трансформатора, соединитель, подключенный к вводу трансформатора с помощью зажима "крокодил", и поступает на трансформатор (в зависимости от выбранной схемы дефектографирования - или на ввод нейтрале, или на короткую обмотку одного напряжения). Параллельно основному выходу с контрольного выхода усилителя мощности генератора сигнал поступает на вход платы БУК и далее на АЦП - для контроля.

Реакции обмоток (отклики) на воздействие синусоидального сигнала с вводов трех фаз через соединители, согласующий блок и измерительный кабель поступают на вход БУК. Блок коммутации каналов последовательно подключает к АЦП 1-й, 2-й и 3-й каналы от трансформатора и 4-й - контрольный сигнал от генератора. АЦП по очереди записывает эти сигналы (осциллограммы) сначала в свой буфер, а затем передает их в ПК для последующей обработки и анализа. Далее частота генератора увеличивается на величину  $\Delta F$  и процесс повторяется до тех пор, пока частота синусоидального сигнала не достигнет конечного значения  $F_k$ . Результатом измерений в пределах одного цикла являются спектральные характеристики диагностируемых обмоток трех фаз трансформатора, которые записывают-

ся в базу данных.



**Рис. 2. Алгоритм оценки механического состояния обмоток по результатам обмеров**



**Рис. 3. Принципиальная схема диагностики обмоток методом частотного анализа**

Результаты измерений подтвердили высокую чувствительность метода частотного анализа к обнаружению механических и электрических повреждений обмоток. Однако для практического применения разработанной методики необходимо иметь критерии оценки состояния обмоток по результатам диагностики. В настоящее время эта задача успешно решается благодаря наличию объемной базы данных, содержащей результаты обмеров сотен трансформаторов, полученных на основе использования метода низковольтных импульсов. Целью является адаптация этих данных для метода частотного анализа.

**Вибрационное обследование и диагностика состояния силовых трансформаторов.** Вибрационное обследование силовых маслонаполненных трансформаторов является достаточно эффективным способом оценки некоторых аспектов их технического состояния. В процессе вибрационного обследования производится, в основном, определение качества взаимного крепления внутренних и внешних элементов трансформатора, определяется целостность конструкции, диагностируется состояние механизмов системы охлаждения.

Достоинством вибрационных методов диагностики технического состояния силовых трансформатора является возможность проведения с их помощью «виброналадки» узлов и элементов трансформаторов. Под этим термином понимается возможность улучшения некоторых вибрационных параметров работы трансформатора.

Важным достоинством применения вибрационных диагностических методов является возможность проведения технической оценки качества прессовки обмоток и магнитопровода трансформатора.

Вибрационное обследование силовых маслонаполненных трансформаторов должно проводиться с использованием современных виброизмерительных приборов - переносных малогабаритных виброметров и виброанализаторов.

Виброметры, самые простые виброизмерительные приборы, предназначены для измерения интегральных параметров вибрации, таких как, например, СКЗ (среднеквадратичное значение) виброскорости или размах виброперемещения (двойная амплитуда вибрации).

Виброанализаторы не только измеряют интегральные параметры вибрации, но и позволяют разлагать контролируемый вибрационный сигнал на отдельные гармонические составляющие, хранить эти параметры во встроенной памяти прибора.

Приборы виброконтроля выпускают многие фирмы в России и за рубежом, выбор этих приборов достаточно велик.

Определение параметров прессовки обмоток и магнитопровода по вибрации на поверхности бака трансформатора.

Количественные значения остаточной прессовки обмоток и магнитопровода являются важными эксплуатационными параметрами. Наи-

большее значение, при оценке технического состояния силового трансформатора, следует уделять качеству прессовки обмоток. Этот параметр определяет динамическую механическую устойчивость обмотки, особенно в переходных режимах, например, при протекании через трансформатор токов короткого замыкания (от нагрузки). Ослабление прессовки обмотки может привести к необратимому взаимному смещению отдельных витков и даже слоев обмотки. Итогом таких изменений может явиться снижение изоляционной прочности и выход трансформатора из строя.

Определение качества прессовки обмоток и магнитопровода может быть выполнено на основании анализа спектрального состава вибрационных сигналов на поверхности бака трансформатора работающего трансформатора. Полностью этот метод реализован в экспертной системе «Веста». В методе отработаны точки проведения измерений, определены устав-ки виброизмерительной аппаратуры, режимы контроля.

Метод базируется на измерении вибрации в 12 точках на поверхности бака трансформатора. Измерения вибрации проводятся в двух режимах холостого хода и нагрузки. Все вибрации в режиме холостого хода вызыва-ются магнитострикцией в магнитопроводе. Вибрации в обмотках суще-ственно ниже, так как ток в режиме холостого хода трансформатора мал. В режиме нагрузки вибрации вызываются сердечником и обмотками, ток в которых уже весьма значителен.

Анализ вибрационных сигналов производится на основании срав-нения спектров. Основной частотой в трансформаторах является 100 Гц. Именно на этой частоте, равной удвоенной частоте питающей сети, дейст-вуют силы магнитострикции в сердечнике и электродинамические усилия в обмотках.

Состояние прессовки магнитопровода определяются по вибрациям в режиме холостого хода. Совместный анализ вибрации в режимах холо-стого хода и нагрузки позволяет разделить вибрационные процессы в раз-личных элементах трансформатора.

Для удобства проведения диагностики трансформаторов, у которых трудно организовать измерение в двух режимах, в системе «Веста» преду-смотрена диагностика по одному режиму. Магнитопровод наиболее точно диагностируется по режиму холостого хода, а обмотка по режиму нагруз-ки. Соответственно, по режиму, близкому к холостому ходу прессовка об-моток диагностируется с большой погрешностью, а в режиме нагрузки трудно диагностировать прессовку магнитопровода. Это является следст-вием проведения диагностики качества прессовки по одному режиму рабо-ты трансформатора.

Уточнение диагноза «распрессовка обмотки» проведением измере-ний вибрации при изменении температуры трансформатора

Основной «активные» материалы силового трансформатора, медь обмоток и сталь магнитопровода имеют различный температурный коэф-

коэффициент линейного расширения. Обмотка, с ростом рабочей температуры, увеличивает свои линейные размеры более значительно, чем магнитопровод трансформатора. При этом усилие прессовки обмотки возрастает, так как обмотка «распирается» в своих элементах крепления, смонтированных на магнитопроводе. При снижении рабочей температуры обмотка «уменьшается» в своих размерах быстрее, чем магнитопровод, поэтому усилие прессовки обмотки уменьшается. Расчетное значение этого эффекта составляет единицы миллиметров.

Знание этой особенности внутренних процессов в трансформаторе, связанной с изменением рабочей температуры, позволяет проводить дополнительные исследования, которые могут существенно уточнить диагнозы «распрессовка обмотки», получаемый при помощи экспертной системы «Веста».

Очень упрощенно, не вникая в суть физических процессов и в особенности конструкции реальных типов трансформаторов, можно считать, что увеличение рабочей температуры трансформатора (охлаждающего масла) на один градус приводит к увеличению усилия прессовки обмотки на один процент (от номинального значения). Такое количественное соотношение произвольно выбрано для удобства проведения расчетов, хотя и достаточно хорошо согласуется с реальными практически данными.

Такой подход к физическим процессам в трансформаторе предполагает следующий план проведения экспериментальных работ, имеющих своей целью более корректное выявление распрессовки обмоток силового маслонаполненного трансформатора.

На трансформаторе проводятся измерения вибрации по методике, предусмотренной в экспертной системе «Веста». Они включают в себя измерения в режимах холостого хода и нагрузки. Эти измерения делаются за такой период времени, когда температура трансформатора (охлаждающего масла), примерно одинакова, т.е. достаточно быстро. Желательно, чтобы температура трансформатора была не очень большой.

Под этим термином понимается нижний уровень рабочей температуры трансформатора, больше соответствующей небольшой нагрузке или, идеально, холостому ходу.

Если в заключении системы «Веста» будет информация, что имеет место распрессовка обмоток среднего или сильного уровня, то необходимо планировать проведение следующего этапа работ. Трансформатор разогревается до максимально допустимой температуры, например, за счет отключения системы охлаждения. В режиме повышенной температуры трансформатор должен быть выдержан не менее двух - трех часов, в течение которых должно произойти выравнивание температурных полей в обмотках и магнитопроводе. Далее производится измерение вибраций на поверхности бака в режиме нагрузки примерно равной нагрузке при первом измерении вибрации, при меньшей температуре.

Если сравнить два диагноза, получаемых при помощи системы «Веста» по одному замеру (нагрузки) при двух различных температурах охлаждающего масла, но одинаковой нагрузке трансформатора, то можно существенно уточнить диагноз «распрессовка обмотки».

Если с ростом рабочей температуры трансформатора расчетный коэффициент, характеризующий усилие прессовки обмотки, будет возрастать, то это будет говорить о подтверждении предварительного диагноза «распрессовка обмотки». Условно можно говорить, что коэффициент качества прессовки обмоток, которым оперирует экспертная система «Веста» в своих отчетах, должен увеличиваться на 0,01 при увеличении рабочей температуры трансформатора (охлаждающего масла) на каждые пять градусов.

Если такая связь температуры и качества прессовки обмоток будет экспериментально выявлена, то диагностическое включение «распрессовка обмотки» можно считать дополнительно подтвержденным испытаниями, выполненными при различных рабочих температурах трансформатора.

Если такой связи между рабочей температурой трансформатора и коэффициентом качества прессовки обмоток не будет выявлено, то, вероятнее всего, диагноз был поставлен экспертной системой не совсем корректно. На получаемое программой заключение повлияли особенности внутренней конструкции контролируемого трансформатора или иные факторы, не учтенные в программе. О недостоверности диагноза, в особенности, следует говорить тогда, когда по итогам диагностики с ростом температуры будет выявляться уменьшение степени прессовки обмоток трансформатора.

### **Список литературы**

1. Бузаев В.В., Львов Ю.Н., Смоленская Н.Ю., Сапожников Ю.М. газохроматографический анализ трансформаторного масла на содержание в нем ионола. Электрические станции, 1996, № 1. С. 51.
2. РД 34.46.302-89. Методические указания по диагностике развивающихся дефектов по результатам хроматографического анализа газов, растворенных в масле силовых трансформаторов. М., Союзтехэнерго, 1989.
3. РД 34.43.206-94. Методика количественного химического анализа, определение содержания производных фурана в электроизоляционных маслах методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. М.: ОРГРЭС, 1995.
4. «Методика контроля состояния твердой изоляции высоковольтного оборудования на основе анализа фурановых производных» 1281.00.00.000Д - М., СКТБ ВКТ филиал АО Мосэнерго, 1999.

Ершов Сергей Викторович, канд. техн. наук, проф., доц., [erschov.serrg@mail.ru](mailto:erschov.serrg@mail.ru), Россия, Тула, Тульский государственный университет,

Дмитриев Антон Михайлович, магистр, [eists@rambler.ru](mailto:eists@rambler.ru), Россия, Тула, Тульский государственный университет

APPLICATION OF DIAGNOSTIC COMPLEXES OF POWER SUPPLY SYSTEMS TO  
IMPROVE THEIR PERFORMANCE

S.V. Ershov, A.M. Michailov

*Considers the application of diagnostic systems of electro-supply, characteristics, structure and their impact on the performance of the systems of electrical supply.*

*Key words: power supply, diagnostic systems, reliability of power supply.*

Ershov Sergey Victorovich, candidate of technical science, docent, [erschov.serrg@mail.ru](mailto:erschov.serrg@mail.ru), Russia, Tula, Tula State University,

Dmitriev Anton Michailovich, magister, [eists@rambler.ru](mailto:eists@rambler.ru), Russia, Tula, Tula State University

УДК 62-83

**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПРОВАЛОВ НАПРЯЖЕНИЯ НА  
ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

С.В. Ершов, Б.А. Жабин

*Рассмотрены вопросы возникновения провалов напряжения и их влияния на показатели систем электроснабжения.*

*Ключевые слова: электроснабжение, провалы напряжения, надежность электроснабжения.*

Одним из наиболее важных вопросов в электроснабжении является обеспечение требуемых показателей качества электроэнергии для потребителей, что регулируется ГОСТ 13109–97 «Нормы качества электроэнергии в системах электроснабжения общего назначения». Весьма важным показателем для промышленности в целом являются провалы напряжения. Согласно ГОСТу, провал напряжения – это внезапное понижение напряжения в точке электрической сети ниже  $0,9U_{ном}$ , за которым следует восстановление напряжения до первоначального или близкого к нему уровня через промежуток времени от десяти миллисекунд до нескольких десятков се-

кунд. Провалы характеризуются длительностью, глубиной и частотой. Однако ГОСТ нормирует только длительность провала: электрических сетях напряжением до 20 кВ включительно она не должна превышать 30 с. Из приведённых в ГОСТе статистических данных можно заключить, что в нашей стране в городских сетях напряжением 6–10 кВ преобладают провалы напряжения глубиной от 35 до 99 % с частотой до 10 в год в кабельных сетях и до 25 – в кабельно-воздушных.

Колебания и провалы напряжения в электрической сети приводят к следующим последствиям:

- колебаниям светового потока осветительных приборов (фликер - эффект);
- ухудшению качества работы телевизионных приемников;
- нарушению в работе рентгеновского оборудования;
- ложной работе регулирующих устройств и ЭВМ;
- нарушениям в работе преобразователей;
- колебаниям момента на валу вращающихся машин, вызывающим дополнительные потери электроэнергии и увеличенный износ оборудования, а также нарушения технологических процессов, требующих стабильной скорости вращения.

Степень влияния на работу оборудования определяется амплитудой колебаний и их частотой.

Колебания нагрузки большой мощности, например, прокатных станов, вызывают колебания момента, активной и реактивной мощности генераторов местных электростанций.

Колебания и провалы напряжения с глубиной более 10 % могут привести к погасанию газоразрядных ламп, повторное зажигание которых в зависимости от типа лампы может происходить только через значительный промежуток времени. При глубоких колебаниях и провалах напряжения (более 15 %) могут отпасть контакты магнитных пускателей, вызвав сбой в производстве.

Колебания с размахом в 10-12 % могут привести к выходу из строя конденсаторов, а также вентилях выпрямительных агрегатов.

Резкие колебания напряжения отрицательно сказываются на динамике ведения поездов. Скачки тока и тягового усилия, вызываемые колебаниями напряжения, снижают надежность работы контакторов и опасны с точки зрения возникновения буксования. Для электроподвижного состава опасны колебания порядка 4-5 %.

На качество дуговой электросварки колебания напряжения практически не влияют (в силу инерционности тепловых процессов в металле шва), но заметно влияют на качество точечной сварки.

Увеличение потерь электроэнергии во внутризаводских сетях, вызванное колебаниями напряжения с амплитудой в 3 %, не превышает 2 % от начального значения потерь.

На металлургических заводах колебания напряжения более 3 % приводят к рассогласованию скоростей работы приводов клетей станов непрерывной прокатки металла, что снижает качество (стабильность толщины) прокатываемой ленты.

При производстве хлора и каустической соды колебания напряжений вызывают резкое увеличение износа анодов и снижение производительности.

Провалы напряжения при производстве химического волокна вызывают останов оборудования, на повторный запуск которого затрачивается от 15 мин в случае отказа 10 % оборудования) до 24 ч при отказе 100 % оборудования). Брак продукции составляет от 2,2 до 800 % от тоннажа одного технологического цикла. Время же полного восстановления технологического процесса достигает 3 суток.

Заметное влияние оказывают колебания и провалы напряжения на асинхронные двигатели малой мощности. Это представляет опасность для текстильного, бумагоделательного и других производств, предъявляющих высокие требования к стабильности скорости вращения электроприводов. В частности, колебания напряжения на заводах химического волокна приводят к нестабильности вращения намоточных устройств. В результате капроновые нити либо рвутся, либо получаются с неравномерной толщиной.

Влияние несимметрии напряжений на работу электрооборудования

Несимметрия трехфазной системы напряжений приводит к возникновению токов обратной последовательности, а в 4-проводных сетях дополнительно и токов нулевой последовательности. Токи обратной последовательности вызывают дополнительный нагрев вращающихся машин, появление нехарактерных гармоник при работе многофазных преобразователей и другие явления.

При несимметрии напряжений в 2 % сроки службы асинхронных двигателей сокращаются на 10,8 % синхронных – на 16,2 %; трансформаторов – на 4 %; конденсаторов – на 20 %. Нагрев оборудования осуществляется за счет расхода дополнительной электроэнергии, что снижает к.п.д. электроустановок. Скорость вращения асинхронных двигателей несколько снижается, возрастают вибрация вала и шум.

Для того чтобы избежать перегрева двигателя, его загрузку приходится снижать. В соответствии с публикацией 892 МЭК полная загрузка двигателя допускается только при коэффициенте обратной последовательности напряжения не более 1 %. При 2 % загрузка должна быть снижена до 96 %, при 3 % – до 90 %, при 4 % – до 83 % и при 5 % – до 76 %.

Если технологические установки оснащены защитой от перекоса напряжений, то при больших уровнях несимметрии они могут отключаться, что приводит к технологическому ущербу (снижение качества и недоотпуск продукции, брак).

Тем не менее, основным эффектом несимметрии напряжений явля-

ется нагрев оборудования, поэтому в течение некоторого времени допустимые значения могут превышать, если в последующие моменты это компенсируется пониженным уровнем несимметрии. Данное положение относится к изменению несимметрии в течение времени, не превышающего времени нагрева оборудования.

При включении больших нагрузок, как например, мощных электродвигателей, пусковые токи могут в разы превышать номинальные. А если цепи и кабельное хозяйство рассчитаны только на номинальные значения тока, пусковые токи вызовут снижение напряжения как в питающей сети, так и на стороне нагрузки. Масштаб явления связан с общим запасом сети по мощности, полным сопротивлением в точке общего подключения (РСС) и полным сопротивлением кабелей. Провалам, вызванным пусковыми токами электродвигателей, свойственны не слишком высокие значения уменьшения напряжения, но бо́льшая длительность, чем у тех, которые вызваны проблемами распределительной сети и длятся от одной до нескольких десятков секунд.

Проблемы у потребителя, вызванные сопротивлением кабелей, решаются относительно легко. Большие нагрузки можно напрямую подсоединить к источнику через точки общего присоединения (РСС) или вторичной обмотке питающего силового трансформатора. Если проблема вызвана полным сопротивлением в точки общего присоединения, т. е. недостаточной мощностью на стороне питания, то требуется принятие мер. Одним из решений может быть применение устройств «мягкого пуска», которые позволяют снизить абсолютные величины провалов напряжения, распределив дополнительную нагрузку во времени. Другим решением может быть устройство по согласованию с компанией-поставщиком питающих цепей с меньшим полным сопротивлением, хотя такое решение может оказаться весьма затратным. Если причину провалов напряжения устранить не удастся, то необходимо оборудование, позволяющее компенсировать это явление. К числу таких устройств относятся традиционные механические стабилизаторы с сервоуправлением, электронные регуляторы напряжения и системы динамического восстановления напряжения (DVR).

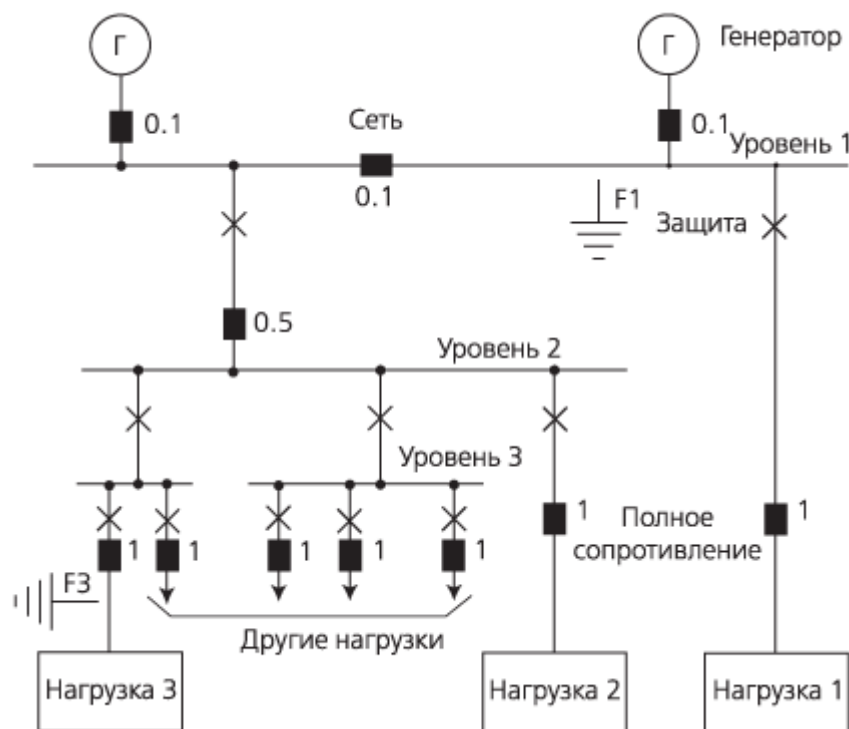
#### Провалы сетевого происхождения

Распределительные сети очень сложны. Степень влияния повреждения на одном участке сети на другие ее части, именно величина провала напряжения и длительность, напрямую зависит от топологии сети, относительного значения полного сопротивления на проблемном участке, нагрузки и генератора в точке общего присоединения.

На рис. 1 представлен пример. Повреждение в точке F3 вызвало провал напряжения 0 % на нагрузке 3, провал 64 % на нагрузке 2 и провал 98 % на нагрузке 1.

Проблема в точке F1 приведет к провалу напряжения у всех потребителей с величиной 0 % на нагрузке 1 и до 50 % на всех других. Обратите

внимание, что повреждение на уровне 1 окажет большее влияние на большее число потребителей, чем повреждение на уровне 3. Нагрузки уровня 3, вероятно, будут подвержены большему числу провалов напряжения, чем нагрузки уровня 1, поскольку число участков с возможными проблемами больше – именно на уровнях 1 и 2.



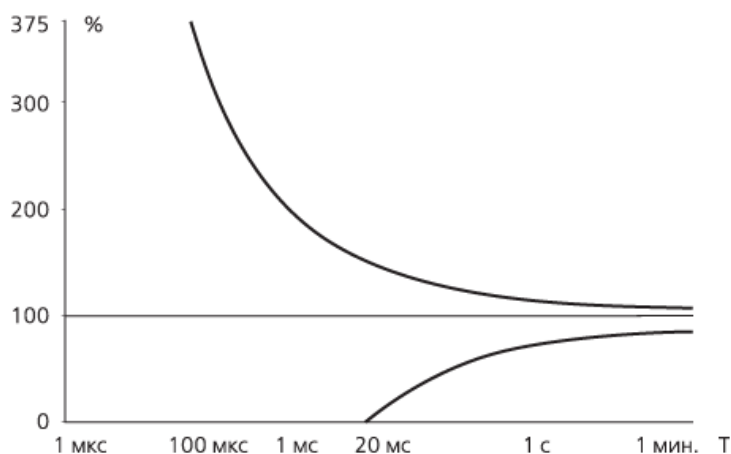
**Рис.1. Происхождение провалов напряжения**

Нагрузки на уровне 2 и 1 соответственно менее зависимы от проблем на уровне 3. Чем ближе нагрузка к источнику питания, тем меньше будут провалы напряжения.

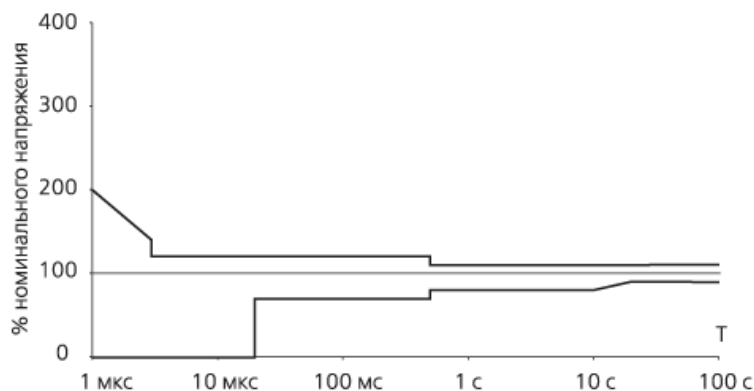
Длительность провала напряжения зависит от времени реакции защиты на обнаружение и изолирование повреждения и составляет, обычно, несколько миллисекунд. Некоторые повреждения могут быть случайными, например, упавшее на воздушную линию дерево – такие проблемы устраняются быстро.

Если участок отключается на длительное время защитной автоматикой, то все потребители на нем обесточиваются до устранения проблемы, проверки и повторного подключения такого участка. Устройства автоматического повторного включения (АПВ) могут несколько облегчить ситуацию, но также могут привести и к учащению числа провалов напряжения. АПВ пытается восстановить питание в течение примерно одной секунды после срабатывания защитной автоматики. Если повреждение устранено, повторное включение завершится успешно, и питание аварийного участка будет восстановлено. Для такого участка в период между срабаты-

ванием защиты и повторным включением величина провала напряжения составит 100 %, в то время как нагрузки на других участках испытают провал меньшей величины и длительности. В случае если повреждение к моменту повторного включения еще не устранено, то защитная автоматика сработает снова и этот процесс будет продолжаться в соответствии с числом попыток, предусмотренных программой конкретного АПВ. Но при каждой попытке повторного включения на прочих участках вновь происходит провал напряжения, т. е. прочие потребители будут подвержены целой серии провалов. Оценка качества энергии от поставщика на нерегулируемых государством рынках частично, а в некоторых странах, как, например, в Великобритании, полностью осуществляется по среднему значению отсутствия питания у потребителя в минутах, причем в расчет обычно берутся перерывы только свыше одной минуты. Это послужило широкому распространению устройств АВП и, как следствие, увеличило вероятность провалов напряжения. Иначе говоря, снижение суммарного статистического времени перерыва подачи энергии осуществлено за счет ее качества.



**Рис. 2. Кривые СВЕМА**



**Рис. 3. Кривые ITIC**

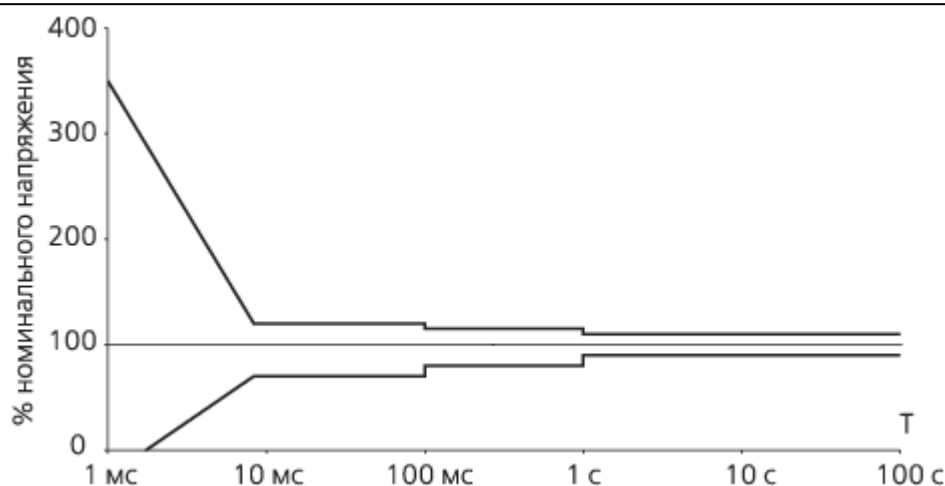


Рис.4. Кривые ANSI

**Чувствительность оборудования.** Компьютеры стали неотъемлемым элементом любого хозяйственного процесса независимо от их вида — рабочие станции, серверы или управляющие модули. Они незаменимы в обработке потоков данных, системах связи различного типа. Именно повсеместное внедрение компьютерной техники высветило проблему провалов напряжения (и заодно почти все проблемы КЭ), и на заре компьютерной эры установки требовали больших усилий по обеспечению их непрерывного функционирования из-за тогда необъяснимого множества случайных отказов. Методом проб и ошибок были созданы так называемые кривые CBEMA (Computer and Business Equipment Manufacturers Association) (рис. 2), ныне известные как кривые ITIC (Information Technology Industry Council) (рис. 3), а ее варианты включены в стандарты IEEE 446 ANSI (рис. 4).

Интервал длительности события в части отклонения значения напряжения от номинала двумя сходящимися кривыми образует сегмент, в пределах которого при соответствующих отклонениях от номинального напряжения в течение определенного интервала времени компьютерное оборудование должно функционировать непрерывно и без потери данных. Применительно к провалам напряжения интерес представляет нижняя кривая. Эта линия и является границей между допустимыми и недопустимыми провалами напряжения по величине и длительности с точки зрения компьютерного оборудования.

В идеальном мире скорее такие кривые должны были бы описывать фактические показатели сети, а производители компьютерной техники подстраиваться под такие фактические данные. Проблема в том, что, если оборудование большинства производителей действительно укладывается в требования упомянутого стандарта, подобное нельзя сказать о фактических показателях электросетей.

Характеристики чувствительности оборудования.

Блоки питания электронных приборов, компьютеров, например, имеют накопительный конденсатор для сглаживания двухполупериодных выпрямленных сигналов, поэтому они по определению устойчивы к провалам напряжения малой длительности. Чем больше емкость конденсатора и разница напряжения конденсатора и минимально необходимого для нормальной работы преобразователя напряжения, тем выше такая устойчивость. Конструкторы, тем не менее, стремятся снизить емкость такого конденсатора, поскольку нацелены на снижение размеров и веса изделия, полагаясь на минимально необходимые значения емкости и напряжения исходя из возможной комбинации максимума по нагрузке и минимума по напряжению на питании. Однако для действительно полноценной защиты от провалов напряжения требуется конденсатор с как минимум двойным запасом по емкости, чтобы выдержать один цикл провала и как минимум 100-кратным запасом для провала длительностью в одну секунду. Другой стратегией могут быть схемотехнические решения, рассчитанные на как можно меньшие допустимые значения напряжения по питанию. Соответственно запас «прочности» у оборудования, рассчитанного на 230 В больше, чем у оборудования, рассчитанного на 110 В. По умолчанию этот принцип применяется для оборудования, рассчитанного на эксплуатацию при различных номиналах напряжения. В принципе, не существует технических преград для создания блоков питания, устойчивых к провалам напряжения, просто потребители не поставили соответствующий вопрос перед производителями, и, разумеется, у таких решений есть своя цена. Тем не менее, затраты на защиту от провалов напряжения в этом направлении несоизмеримо меньше, чем затраты на предотвращение провалов напряжения на питающей сети.

Регулируемый электропривод может быть поврежден провалами напряжения, и изделия обычно снабжены детекторами напряжения с порогами срабатывания при 15–30 % падении напряжения.

Индукционные двигатели обладают инерцией, что помогает при провалах напряжения малой длительности, по сути возвращая в этот момент энергию. Однако при повторном разгоне энергию придется возместить, и если скорость вращения упала до 95 % от номинальной или ниже, то для разгона потребуется ток, почти равный пусковому. А поскольку в процесс вовлечены все двигатели одновременно, ситуация может усугубиться.

Реле и контакторы чувствительны к провалам напряжения и могут стать слабым звеном в цепи. Установлено, что устройство может разомкнуть цепь даже в случае, когда напряжение еще не снизилось до пороговой величины. Здесь имеет значение не только величина падения напряжения и интервал длительности, но и участок синусоиды в момент провала – наименьшая устойчивость наблюдается на гребне.

Ртутные источники света также уязвимы перед провалами напря-

жения. Так, разогретой лампе требуется более высокое значение стартового разряда, чем холодной, поэтому после провала напряжения погасшая лампа может не включиться. Значение критического провала напряжения для новой лампы может быть 45 %, а для старой – даже 2 %.

Как уже указывалось, вероятность возникновения провалов напряжения, их величина и длительность зависит от топологии сети в районе объекта. Хотя некоторые исследования на эту тему велись во многих странах, сегодня будет верным утверждение, что достоверной статистики для конкретных участков не существует. Это затрудняет выбор места для важных и критически важных объектов. Остается рассчитывать на общие принципы: так, расположение объекта ближе к генерационным мощностям с соединением подземными силовыми линиями среднего напряжения будет лучшим решением, чем удаленное от генерации расположение с воздушной линией. Вопрос только о количественной мере такого преимущества. Несложно оценить качество транспортной составляющей, например, и на самом деле это фактор становится решающим. А вот качество инфраструктуры энергоснабжения оценить куда сложнее. Также сложно решить вопрос оценки в «чистом поле», поскольку отсутствуют объекты сравнения. При этом именно в «чистом поле» и можно сразу создать действительно качественную инфраструктуру энергоснабжения, с «чистого листа», если, конечно, поставщик энергии настроен на конструктивное сотрудничество за ваш счет!

При этом даже те малые исследования, которые проводились, дают основание заключить, что провалы напряжения по причинам на стороне питания, как правило, имеют большие интервалы длительности и выходят за пределы упомянутых кривых.

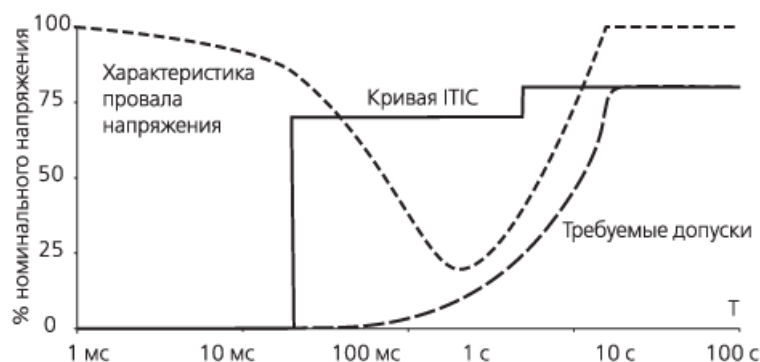
На рис. 5 показана вероятная длительность и величина провала типичной распределительной сети. На том же рисунке для сравнения нанесены кривые ИТЭС.

Из схемы явно видно, что современному компьютерному оборудованию следовало бы быть в 100 раз качественнее, чем предполагается кривыми ИТЭС. А до тех пор, наверное, было бы правильно полагать, что такого действительно устойчивого к провалам напряжения компьютерного оборудования пока не производится.

В случае маломощных нагрузок распространения получили ИБП как средство защиты от провалов, так и перерывов в энергоснабжении. Резервным источником питания обычно является химический источник тока, аккумулятор, в силу чего длительного эффективного резервирования от ИБП ожидать не приходится.

Обычно ИБП обеспечивает необходимое для аварийного, но штатного сворачивания текущих процессов, защищая таким образом данные. Но для повторного включения все равно потребуются значительное время. Иногда ИБП обеспечивает переключение питания аварийного генератора.

Для незначительных по величине потерь напряжения провалов применяются автоматические регуляторы напряжения (АРН), в том числе электромагнитные и электромагнитные. Поскольку в этих устройствах нет необходимости применения запасания энергии, они могут быть эффективны в течение длительных интервалов как при провалах, так и при перенапряжении.



**Рис.5. Типичная характеристика провала и кривая ITIC**

Для значительных нагрузок или больших величинах провалов напряжения хорошо зарекомендовали себя системы динамического восстановления напряжения (DVR). Такие устройства соединены с нагрузкой и восполняют недостающую часть питания: при падении напряжения до 70 % DVR обеспечивает недостающие 30 %. DVR обеспечивают компенсацию в течение непродолжительного интервала, для чего используется запасенная энергия от мощных батарей, суперконденсаторов и даже маховиков. Эти устройства не могут использоваться для длительных периодов провалов или перенапряжения.

Улучшение качественных характеристик сети с целью устранения провалов напряжения крайне затратно и практически неосуществимо. В некоторых случаях, где цель оправдывает затраты, организуют дублирование энергоснабжения от достаточно удаленных друг от друга участков сети, чтобы условно считать их электрически не связанными.

В большинстве же случаев требуется специальное оборудование, выбор которого велик в зависимости от вида нагрузки.

Самым экономичным способом противостоять провалам напряжения является выбор оборудования, устойчивого к провалам в силу своей конструкции, но такой способ не активно поддерживается производителем.

### Список литературы

1. Гамазин С.И., Цырук С.А., Зинчук Д.Е. Импульсные напряжения в низковольтных распределительных сетях, вызванные коммутационными процессами // Пром. энергетика. 2000. №3. С.28-33.

2. Баков Ю.В. Влияние мощности короткого замыкания и компенсирующей мощности на качество электроснабжения промышленных установок // Пром. энергетика. 1991. №9. С.41-43.

3. Иванов В.С., Соколов В.И. Режимы потребления и качества электроэнергии систем электроснабжения промышленных предприятий. М.: Энергоатом-издат, 1987. 336 с.

4. Ершов М.С., Егоров А.В., Яценко Д.Е. О влиянии параметров энергосистемы на устойчивость узлов электрической нагрузки промышленных предприятий // Пром. энергетика. 1997. №5.

5. Соколов В.С., Чернышова Н.В. Предложения по инженерному решению проблемы качества электрической энергии // Пром. энергетика. 2001. №8. С. 51-53.

6. Копылов В.В. Кратковременные аварийные режимы электрических сетей и их влияние на экономические показатели промышленных предприятий // Изв. вузов. Электромеханика. 1999. №1. С. 118.

7. Горюнов И.Т., Мозгалева В.С., Богданов В.А. Проблемы обеспечения качества электрической энергии // Электрические станции. 2001. №1. С. 1620.

*Ершов Сергей Викторович, канд. техн. наук, проф., доц., [erschov.serrg@mail.ru](mailto:erschov.serrg@mail.ru), Россия, Тула, Тульский государственный университет,*

*Жабин Борис Андреевич, магистр, [eists@rambler.ru](mailto:eists@rambler.ru), Россия, Тула, Тульский государственный университет*

#### ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF VOLTAGE DIPS ON INDICATORS OF ELECTRICITY SUPPLY SYSTEMS

S.V. Ershov, B.A. Zhabin

*Considered are the questions of occurrence of voltage dips and their impact on the indicators of power supply systems.*

*Key words: power supply, voltage dips, reliability of power supply.*

*Ershov Sergey Victorovich, candidate of technical science, docent, [erschov.serrg@mail.ru](mailto:erschov.serrg@mail.ru), Russia, Tula, Tula State University.*

*Zhabin Boris Andreyevich, magister, [eists@rambler.ru](mailto:eists@rambler.ru), Russia, Tula, Tula State University*

## ПОСТРОЕНИЕ ЛОГАРИФМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНО – АДАПТИВНЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ МИКРОКЛИМАТА

С.В. Ершов, Т.Е. Сергеева

*Рассмотрены методы построения логарифмических характеристик передаточных функций систем автоматического регулирования параметров микроклимата. В основу методики построения характеристик положен способ описания отдельных элементов системы передаточными функциями.*

*Ключевые слова: теплоснабжение, микроклимат, отопление, вентиляция, передаточная функция.*

Для обеспечения оптимальных параметров микроклимата помещений с учетом минимального потребления энергетических ресурсов нередко требуется логарифмическо-частотная оценка систем автоматического регулирования. Далее приводится методика, позволяющая проводить частотный анализ САР для интеллектуально-комбинированных систем микроклимата.

Для нахождения аналитических выражений статических и динамических тепловых характеристик помещения следует воспользоваться математической моделью теплового режима помещения. Для анализа тепловых характеристик помещения можно использовать аппарат теории теплоустойчивости, позволяющей рассчитывать температурные колебания в помещении при произвольной частоте периодических тепловых воздействий.

Использование математической модели теплового режима помещения на основе теории теплоустойчивости связано с введением ряда допущений, которые являются традиционными и присущи многим другим моделям.

Первое допущение состоит в том, что помещение рассматривается как объект с сосредоточенными параметрами. Прежде всего, это относится к распределению температуры воздуха в плане и по высоте помещения, которое обычно не учитывается. Кроме того, принимается равномерное и пропорциональное распределение лучистых тепловых потоков по площадям поверхностей. Все поверхности в помещении, имеющие разные температуры, заменяются одной изотермической с радиационной (или осредненной) температурой. При этом из общего теплообмена исключается лучистый теплообмен между поверхностями. Для большинства помещений эти допущения не вносят существенной погрешности в результаты расчета.

Для помещений большого объема с неравномерными в плане тепловыделениями или при наличии сильно неизотермических поверхностей

и мощных конвективных источников теплоты перечисленные выше допущения могут оказаться неправомерными. В этом случае помещение следует рассматривать как объект с рассредоточенными параметрами. При этом анализ тепловых процессов, протекающих в помещении, проводят с помощью математических моделей, реализуемых на ЭВМ или путем физического моделирования.

Статические характеристики определяют в виде коэффициентов передачи по регулирующим и возмущающим воздействиям. В общем случае при периодическом (в течение рабочей части суток) действии систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха установившимся состоянием будет периодически повторяющийся или квазистационарный тепловой режим помещения.

Основным уравнением, связывающим регулируемый параметр — температуру воздуха с возмущающими и регулирующими тепловыми воздействиями, в квазистационарном режиме является уравнение средней за рабочую часть суток тепловой нагрузки на систему.

Тепловой поток, вносимый в помещение системой и равный тепловой нагрузке на систему, для приборных систем отопления составит

$$Q_c = k_{o.n} F_{o.n} (t_{o.n} - t_{\epsilon}), \quad (1)$$

а для систем воздушного отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха

$$Q_c = L(c\rho)(t_{o.n} - t_{\epsilon}), \quad (2)$$

где  $k_{o.n}$ ,  $F_{o.n}$  — коэффициент теплопередачи, Вт/(м<sup>2</sup>·°С) и площадь нагрева отопительного прибора, м<sup>2</sup>;  $t_{o.n}$  — средняя температура теплоносителя, °С;  $t_{п.р}$  — температура приточного воздуха, °С.

Тогда решение уравнения (1) относительно  $t_{\epsilon}$ , содержащейся в левой части уравнения в величине  $Q_c$  и в правой части в величине  $Q_{тр}$ , будет иметь вид

$$t_{\epsilon} = \frac{\eta_{mp} \sum k_o F_o t_{нар.o} + \sum Q_j \eta_j - Kt}{\eta_{mp} \sum k_o F_o - K}, \quad (3)$$

где  $K = k_{o.n} F_{o.n}$   $t = t_{o.n}$  — для приборных систем отопления и  $K = L(c\rho)$   $t = t_{п.р}$  — для воздушных систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха.

Для определения коэффициентов передачи помещения надо найти производные функции (3) по переменным параметрам. Коэффициенты передачи по регулирующим воздействиям равны:

по температуре приточного воздуха

$$Kt_{np} = \frac{L(c\rho)}{\eta_{mp} \sum k_o F_o - L(c\rho)}; \quad (4)$$

по температуре теплоносителя

$$Kt_{o.n} = \frac{t_{o.n}}{\eta_{mp} \sum k_o F_o - F_{o.n}}; \quad (5)$$

по расходу приточного воздуха

$$K_L = \frac{\eta_{mp} \sum k_o F_o t_{нар.о} + \sum Q_j \eta_j - \eta_{mp} t_{np} \sum k_o F_o}{(\eta_{mp} \sum k_o F_o - L(c\rho))^2}. \quad (6)$$

Коэффициенты передачи по возмущающим воздействиям равны:

по температуре наружной среды

$$K_{tnap} = \frac{\eta_{mp} \sum k_o F_o}{\eta_{mp} \sum k_o F_o - K}; \quad (7)$$

по тепловым потокам, поступающим в помещение

$$K_{Qj} = \frac{\eta_j}{\eta_{mp} \sum k_o F_o - K}. \quad (8)$$

Динамические тепловые свойства помещения характеризуются амплитудной и фазовой частотными характеристиками.

Следует иметь в виду, что основные положения теории теплоустойчивости справедливы только для периодически повторяющихся тепловых воздействий, поэтому они не могут быть прямым образом использованы для непосредственного определения временных динамических характеристик тепловых процессов (при разовых ступенчатых и импульсных воздействиях).

Однако зависимости теории теплоустойчивости, выведенные для прерывистых периодических тепловых воздействий, могут быть применены и к расчету импульсных динамических характеристик (рис.1). Для вычисления импульсных характеристик можно воспользоваться зависимостями, которые могут быть применены для определения отклонений регулируемого параметра от среднего за период в произвольный момент времени, так как закон изменения коэффициента прерывистости  $\Omega$  известен. При этом следует предположить, что период  $T$  имеет большую протяженность (теоретически стремится к бесконечности). Ошибка будет тем меньше, чем меньше относительное время прерывистой подачи теплоты  $m = \Delta z_1 / T$ .

Рассмотрим задачу аналитического нахождения частотных характеристик помещения, оборудованного системой кондиционирования воздуха, на основе закономерностей теории теплоустойчивости.

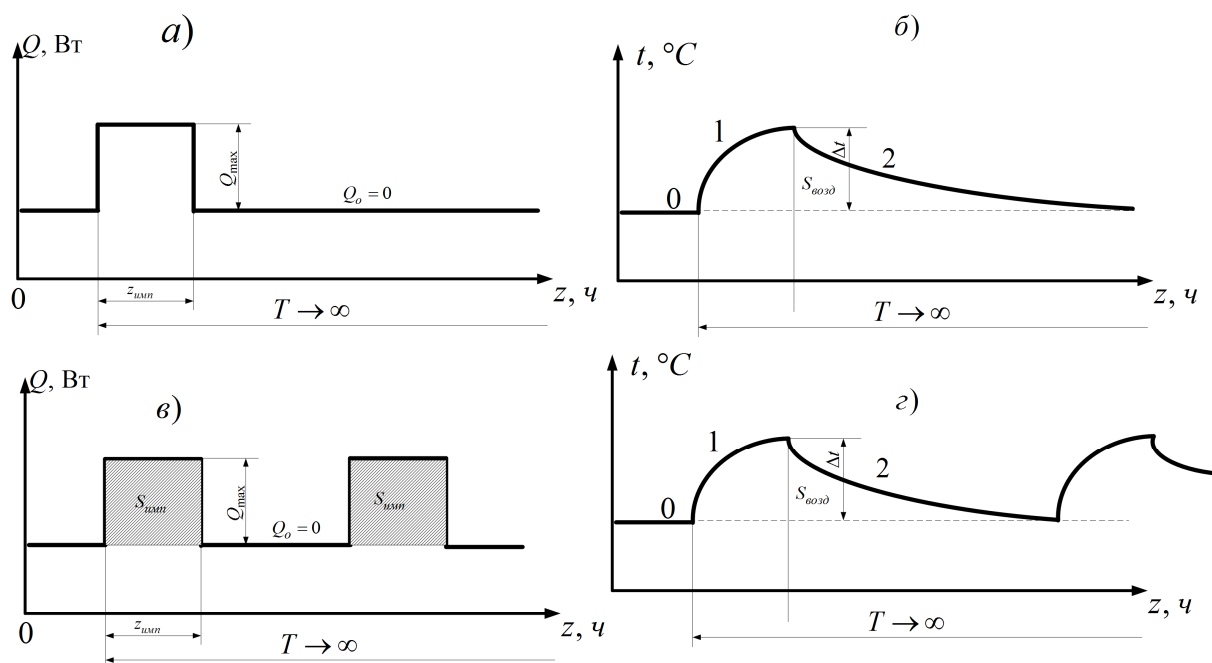
В зависимости от способа регулирования системы динамические свойства помещения описываются уравнениями вида:

$$\frac{t_g}{t_{np}} = \varphi(\omega_{t_{np}}); \quad (9)$$

при регулировании изменением температуры приточного воздуха

$$\frac{t_{\theta}}{L(c\rho)} = \varphi(\omega_{L(c\rho)}) \quad (10)$$

где  $\omega = 2\pi/T$  – частота колебаний.



**Рис.1. Переходные тепловые процессы в объектах регулирования при разовых и периодически повторяющихся импульсах (П-образных) тепловых воздействиях: а – разовое импульсное тепловое воздействие ( $z_{\text{имп}}$  — время импульса, ч), б – импульсная характеристика объекта (импульсная кривая разгона); в – прерывистые периодически повторяющиеся с периодом  $T$  тепловые воздействия, г – кривая периодически повторяющихся отклонений регулируемого параметра с амплитудами  $A_t$  от среднего за период значения (при  $m \ll T$ ,  $A_t \approx \Delta t$ ) 1 и 2 — кривые нарастания отклонения  $\Delta t$  регулируемого параметра при разовом воздействии и после прекращения импульсного воздействия**

Рассматривая совместно уравнение (2), видим, что выражения (9) и (10) являются функцией комплексного числа – показателя теплопоглощения помещения  $P_{\text{пом}}$  и характеризуются модулем

$$\left| \frac{t_{\theta}}{t_{np}} \right| = \frac{A_{t\theta}}{A_{tnp}} = \frac{L(c\rho)}{|p_{\text{ном}}|}; \quad (11)$$

$$\left| \frac{t_{\theta}}{L(c\rho)} \right| = \frac{A_{t\theta}}{\Delta L(c\rho)} = \frac{t_{np} - t_{\theta}}{|p_{\text{ном}}|}.$$

и аргументом

$$\arg \frac{t_{\varepsilon}}{t_{np}} = \arg L(c\rho) - p_{ном} \quad (12)$$

$$\arg \frac{t_{\varepsilon}}{L(c\rho)} = \arg(t_{np} - t_{\varepsilon}) - \arg p_{ном}.$$

Таким образом, задача аналитического нахождения частотных характеристик помещения сводится к определению зависимости показателя теплопоглощения помещения  $P_{пом}$  от частоты  $\omega$  при разных регулирующих воздействиях.

Найдем  $P_{пом}$

$$P_{ном} = \sum (B_i F_i)_{огр} + (BF)_{об} + L(c\rho) + \frac{2\pi}{T} V_{ном}(c\rho)_i \quad (13)$$

где  $B_i$  и  $B$  — показатели теплопоглощения поверхностями соответственно  $i$ -го ограждения и оборудования.

Величина  $B$  является тоже комплексным числом, которое имеет вид  $B = A + Bi$ .

Значения  $A$  и  $B$  зависят от конструкции ограждения, теплофизических свойств их материальных слоев и могут быть определены как:

Из формулы (7.14) следует:

$$\frac{1}{Y} = R_y = a + bi; \quad B = \frac{1}{a + bi + 1/\alpha_k}; \quad (14)$$

$$A = \frac{a + \frac{1}{\alpha_k}}{\left(a + \frac{1}{\alpha_k}\right)^2 + b^2}; \quad B = \frac{b}{\left(a + \frac{1}{\alpha_k}\right)^2 + b^2}. \quad (15)$$

С учетом изложенного комплексное число — показатель теплопоглощения помещения  $P_{пом}$  — характеризуется модулем

$$|P_{ном}| = \frac{\sqrt{\left[\sum (A_i F_i)_{огр} + (AF)_{об} + L(c\rho)\right]^2}}{\left[\sum (B_i F_i)_{огр} + (BF)_{об} + \frac{2\pi}{T} V_{ном}(c\rho)\right]} \quad (16)$$

и аргументом

$$\arg P_{ном} = \arctg \frac{\sum (B_i F_i)_{огр} + (BF)_{об} + \frac{2\pi}{T} V_{ном}(c\rho)}{\sum (A_i F_i)_{огр} + (AF)_{об} + L(c\rho)}. \quad (17)$$

Найденные для различных частот  $\omega$  значения  $\text{mod } P_{\text{пом}}$  и  $\arg P_{\text{пом}}$  подставляют в (11) и (12) и определяют амплитудную и фазовую частотные характеристики по регулируемому воздействию. Формулы (9) и (10) являются аналитическим выражением комплексного коэффициента передачи или частотной характеристики  $W_{\text{пом}}$  помещения.

С учетом (11), не выделяя для простоты показатель теплопоглощения оборудования отдельной составляющей, запишем

$$W_{\text{ном}, t_{\text{np}}} = \frac{1}{\frac{\sum(A_i F_i)}{L(c\rho)} + 1 + \frac{\sum(B_i F_i) + V_{\text{ном}}(c\rho)\omega}{L(c\rho)}}. \quad (18)$$

В формуле (18) переменный по частоте коэффициент  $B_i$  представлен в виде произведения некоторой величины  $\bar{B}$  на частоту колебания  $\omega$ , т.е.

$$B_i = \bar{B}_i \omega, \quad (19)$$

причем  $B_i$  зависит от  $\omega$ .

С учетом (19) перепишем формулу (18) в виде

$$W_{\text{ном}, t_{\text{np}}} = \frac{1}{\frac{\sum(B_i F_i) + V_{\text{ном}}(c\rho)}{L(c\rho)} \omega_i + \left(1 + \frac{\sum(A_i F_i)}{L(c\rho)}\right)}. \quad (20)$$

Разделив числитель и знаменатель формулы (20) на  $1 + \frac{\sum(A_i F_i)}{L(c\rho)}$ , получим

$$W_{\text{ном}, t_{\text{np}}} = \frac{K_{\text{ном}}}{T_{\text{ном}} \omega i + 1}. \quad (21)$$

где

$$K_{\text{ном}} = \frac{1}{1 + \frac{\sum(A_i F_i)}{L(c\rho)}}; \quad T_{\text{ном}} = \frac{\sum(B_i F_i) + V_{\text{ном}}(c\rho)}{\sum(A_i F_i) + L(c\rho)}. \quad (22)$$

Выражение (21) соответствует частотной характеристике апериодического звена 1-го порядка с переменными коэффициентами.

Для расчета по (21) переходного процесса  $t_b$  в помещении воспользуемся методикой определения переходного процесса при скачкообразном возмущении, известной из теории автоматического регулирования. Для этого сначала определим действительную часть (вещественную частотную характеристику) выражения (21)

$$R(\omega) = \frac{K_{\text{ном}}}{T_{\text{ном}}^2 \omega^2 + 1}. \quad (23)$$

Выражение для переходного процесса при единичной скачкообразной функции с учетом (23) имеет вид

$$\frac{\Delta t_e}{\Delta t_{np}}(z) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{K_{ном}}{T_{ном}^2 \omega^2 + 1} \frac{\sin \omega}{\omega} z d\omega. \quad (24)$$

Непосредственное использование формулы (24) для построения графика переходного процесса затруднительно. Поэтому в теории автоматического регулирования применяется методика приближенного построения графика переходного процесса с помощью трапецевидных характеристик.

Изложенный метод определения динамики тепловых процессов в помещениях с использованием теории теплоустойчивости хотя и позволяет решить задачу в достаточно полной постановке, тем не менее, оказывается трудоемким для инженерных расчетов. В результате решения задач по определению частотных характеристик кондиционируемого помещения по регулируемому воздействию оказалось, что в интервале изменения частоты 5—300 рад/ч частотные кривые соответствуют характеристикам апериодического звена 1-го порядка с постоянными коэффициентами. Это хорошо подтверждается рис. 2, на котором показаны амплитудные и фазовые частотные характеристики помещения, построенные при переменных 1 и постоянных 2 коэффициентах в дифференциальном уравнении динамики тепловых процессов в помещении.

Отмеченное обстоятельство позволяет упростить задачу расчета частотных характеристик.

При рассмотрении помещения как апериодического звена 1-го порядка с постоянными коэффициентами

$$W_{ном, t_{np}} = \frac{k_{ном}}{T_{ном} \omega i + 1}, \quad (25)$$

где  $k_{ном}$  – условный статический коэффициент передачи помещения;  $k_{ном} < K_{ном}$ .

В данном случае  $k_{ном}$  и  $T_{ном}$  не зависят от  $\omega$ . Анализ (25) показывает, что при  $\omega = 1/T_{ном}$

$$\arg W_{ном, t_{np}} = -\arctg 1 = -45^\circ,$$

т. е. кривая фазового запаздывания пересекает прямую  $\varepsilon = -\frac{\pi}{4}$  (см. рис. 2).

Частота колебаний  $\omega_{тп}$ , соответствующая точке пересечения, определяется из (17) при условии  $\arg P_{ном} = \frac{\pi}{4}$  или

$$\frac{\sum (B_i F_i)_{огр} + (BF)_{об} + V_{ном} (c\rho) \omega_{тп}}{\sum (A_i F_i)_{огр} + (AF)_{об} + L(c\rho)} = 1. \quad (26)$$

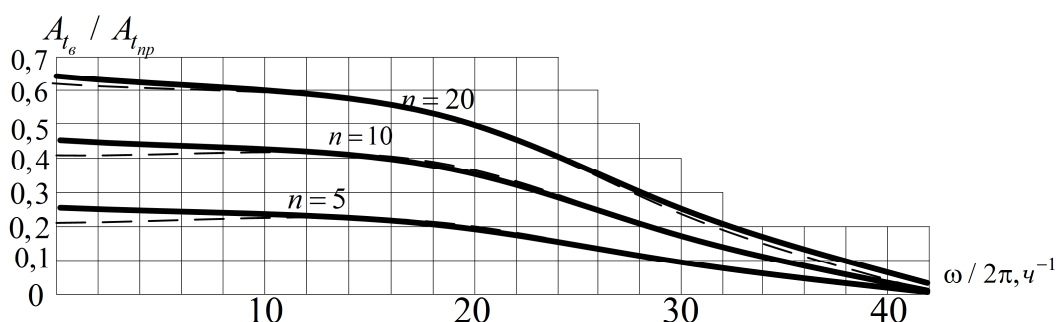
Так как в (26) коэффициенты  $A$  и  $B$  зависят от искомой частоты  $\omega_{тп}$ , задача решается методом последовательных приближений. Чтобы сократить число операций, искомую частоту можно предварительно определить по формуле

$$\omega_{m.n} = \frac{L(c\rho) + \sum (\alpha_{ki} F_i)_{оп} + (\alpha_k F)_{об}}{V_{ном}(c\rho)}, \quad (27)$$

которая получена из (13) в предположении, что  $B \approx \alpha_k$ . Зная частоту  $\omega_{тп}$ , определим  $k_{ном}$  и  $T_{ном}$

$$k_{ном} = \sqrt{2} |W_{ном}| \omega_{m.n} = \sqrt{2} \frac{L(c\rho)}{|P_{ном}| \omega_{m.n} + 1}; \quad (28)$$

$$T_{ном} = \frac{1}{\omega_{m.n}}. \quad (29)$$



**Рис. 2. Амплитудные и фазовые частотные характеристики кондиционируемого помещения, построенные для кратностей воздухообмена  $n = 5, 10, 20 \text{ ч}^{-1}$  по данным аналитических расчетов по формулам (11) и (12)**

С учетом (21) при  $B \approx \alpha_k$  напомним формулы для приближенного определения  $k_{ном}$  и  $T_{ном}$

$$k_{ном} = \frac{L(c\rho)}{L(c\rho) + \sum \alpha_{ki} F_i}; \quad (30)$$

$$T_{ном} = \frac{V_{ном}(c\rho)}{L(c\rho) + \sum \alpha_{ki} F_i}. \quad (31)$$

Помимо температурных условий в помещениях в общем случае регулируется влажность воздуха. Если пренебречь влагопередачей через ограждения, уравнение баланса влаги в помещении имеет вид

$$G_e d_{np} + W = G_e d \quad (32)$$

где  $G_e$  — весовой расход воздуха, кг/ч;  $d_{np}$  и  $d$  — влагосодержание приточного и внутреннего воздуха, г/кг;  $W$  — выделение влаги в помещении, г/ч.

Статический коэффициент передачи по возмущающему  $w$  и регули-

рующему воздействию  $d_{np}$  определяется дифференцированием влагосодержания  $d$ , полученного из уравнения баланса влаги по перечисленным параметрам:

$$K_{ном. d_{np}} = 1;$$
$$K_{ном. W} = \frac{1}{G_g}.$$

Дифференциальное уравнение накопления влаги в воздухе помещения определим в виде

$$G_g d_{np} + W - G_g d = V \rho \frac{\partial d}{\partial z}.$$

После применения преобразования Лапласа получим выражение для частотной характеристики помещения по регулируемому воздействию

$$W_{d_{np}} = K_{ном. d_{np}} \frac{1}{1 + T \omega i}.$$

Постоянная времени  $T$  величина обратная кратности воздухообмена

$$T = \frac{1}{n} = \frac{V \rho}{G} = \frac{V}{L}.$$

Помещение в этом случае как звено системы регулирования влажности является инерционным звеном с постоянной времени  $T$ , которая может достигать ощутимых значений, что следует учитывать при расчете САР.

### Список литературы

1. Гусев В.М., Ковалев Н.И., Попов В.П., Потрошков В.А. Теплотехника, отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха: уч. для вузов. М: Стройиздат, 1981. 343 с.
2. Мухин О.А. Автоматизация систем теплогазоснабжения и вентиляции: уч. для вузов. Минск: Высшая школа, 1986. 304 с.
3. Фаликов В.С., Витальев В.П. Автоматизация тепловых пунктов. Справочное пособие. М.: Энергоатомиздат, 1989. 255 с.

Ершов Сергей Викторович, канд. техн. наук, проф., доц., [erschov.serrg@mail.ru](mailto:erschov.serrg@mail.ru), Россия, Тула, Тульский государственный университет,

Сергеева Татьяна Евгеньевна, инженер, [kafelene@rambler.ru](mailto:kafelene@rambler.ru), Россия, Тула, Тульский государственный университет.

MAKING A LOGARITHMIC CHARACTERISTICS OF INTELLECTUALLY - ADAPTIVE  
SYSTEMS AUTOMATIC CONTROL OF THE MICROCLIMATE

S.V. Ershov, T.E. Sergeeva

*Discussed methods for constructing logarithmic characteristics of the transmission functions of the systems of automatic regulation of microclimate parameters. The methodology of constructing the characteristics laid way to describe certain elements of the transfer functions.*

*Key words: heat supply, microclimate, heating, ventilation, transfer function.*

*Ershov Sergey Victorovich, candidate of technical science, docent, [er-schov.serrg@mail.ru](mailto:er-schov.serrg@mail.ru), Russia, Tula, Tula State University,*

*Sergeeva Tatiana Evgenyevna, engineer, [kafelene@rambler.ru](mailto:kafelene@rambler.ru), Russia, Tula, Tula State University*

УДК 621.331

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНО – АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ МИКРОКЛИМАТА**

С.В. Ершов Т.Е. Сергеева

*Приведена методика проведения исследований интеллектуально-адаптивной системы поддержания требуемых параметров микроклимата помещения. Даны математические модели интеллектуально-адаптивной системы управления параметрами микроклимата.*

*Ключевые слова: теплоснабжение, микроклимат, отопление, вентиляция, система автоматического регулирования.*

При создании и внедрении систем автоматического регулирования (САР) вентиляции и кондиционирования воздуха необходимо знать характеристики, как определенных элементов СКВ, так и системы в целом, которые описывают их поведение в переходных и установившихся режимах. Только по таким характеристикам можно оптимально выбрать регулятор, датчики, исполнительные механизмы, построить САР и произвести ее наладку.

Наиболее широко используются методы математического описания САР на основе передаточных функций  $W(p)$ , которые отражают взаимосвязь входных и выходных параметров отдельных элементов и всей системы [1].

Обобщенную структурную схему САР можно представить в виде, показанном на рис. 1.

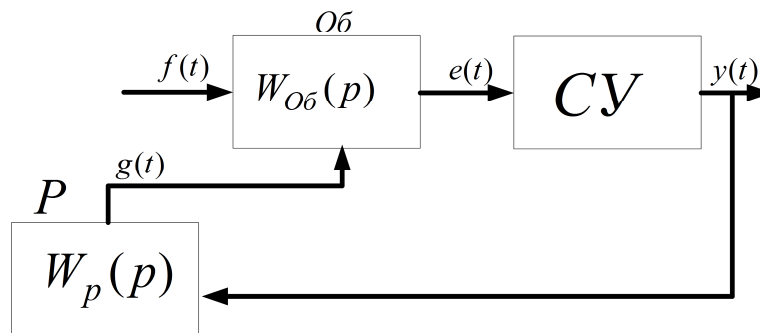
Зная  $W_{об}(p)$  и задаваясь свойствами САР — передаточной функцией  $W_c(p)$ , можно выбрать или настроить уже выбранный регулятор —  $W_p(p)$ .

Для построения высокоэффективной системы управления необходимо иметь описание объекта управления в виде математической модели.

Для описания объектов управления, в которых отсутствует зависимость переменных состояния, управления от пространственных координат (линейные многомерные системы с сосредоточенными параметрами), используются системы линейных обыкновенных дифференциальных уравнений или соответствующие изображения по Лапласу. Рассмотрим многомерную линейную систему с  $m$  - управлениями,  $l$  - возмущениями и  $k$  - входами. Модель линейной системы с сосредоточенными параметрами во временной области:

$$\begin{aligned}\dot{x}(t) &= Ax(t) + Bu(t) + Df(t); \quad x(0) = x_0; \\ y(t) &= Cx(t),\end{aligned}\tag{1}$$

где  $x(t)$  – вектор состояния системы;  $x \in R^n$ ;  $u(t)$  – вектор управлений (входов);  $u \in R^m$ ;  $y(t)$  – вектор выходов;  $y \in R^k$ ;  $f(t)$  – вектор возмущений,  $f \in R^l$ ;  $A$  – матрица размерности  $n \times n$ ;  $B$  – матрица размерности  $n \times m$ ;  $D$  – матрица размерности  $n \times l$ ;  $C$  – матрица размерности  $k \times n$ .



**Рис. 1. Обобщенная структурная схема САР:**

**Об** — объект регулирования с передаточной функцией  $W_{об}(p)$ ;  
**СУ** — устройство сравнения; **Р** — регулятор с передаточной функцией  $W_p(p)$ ;  $f(t)$  — возмущающее воздействие;  $y(t)$  — регулируемая величина;  
 $e(t)$  — ошибка регулирования  $g(t)$  — задающее воздействие;  
 $y(t)$  — управляющее воздействие

Применяя преобразование Лапласа к системе, получим эквивалентную модель в комплексной области:

$$y(s) = C\Phi(s)x_0 + C\Phi(s)Bu(s) + C\Phi(s)Df(s)\tag{2}$$

или

$$y(s) = W_{y0}(s)x_0 + W_{yu}(s)u(s) + W_{yf}(s)f(s)\tag{3}$$

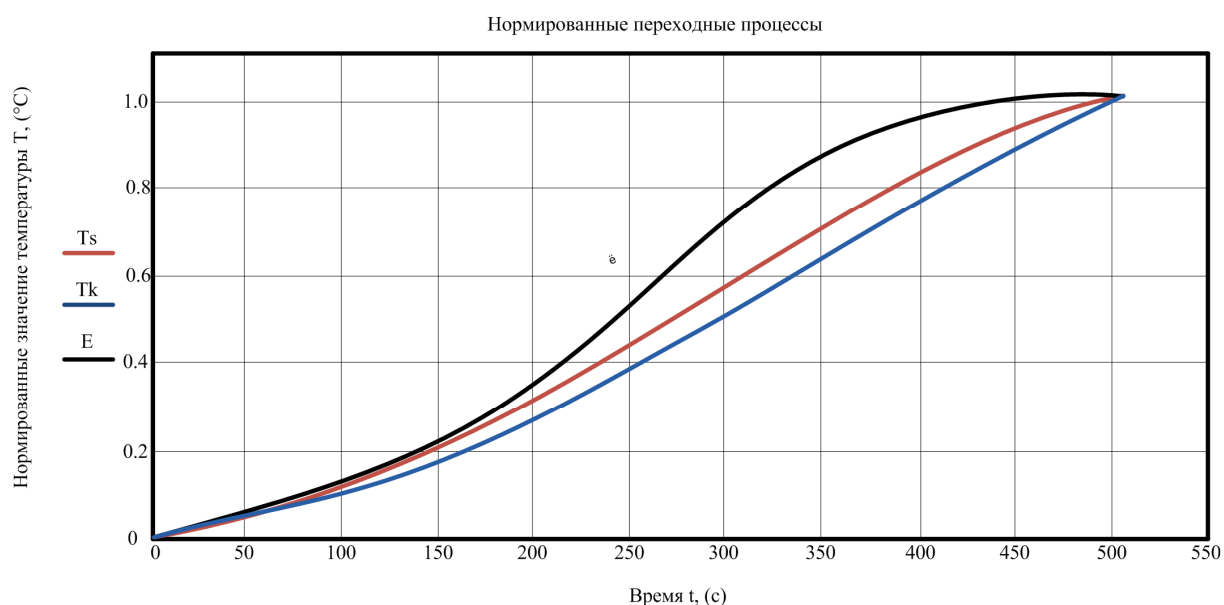
Частотное или временное представления выбираются из соображений удобства, так как в случае постоянных матриц  $A$ ,  $B$ ,  $C$  и  $D$  они эквивалентны. Для построения подобных моделей можно использовать два пути: применять фундаментальные физические соотношения в виде законов сохранения вещества, энергии или восстанавливать параметры моделей по

эмпирическим данным, причем второй путь более часто применяется на практике.

Для построения математической модели объекта управления использовался метод восстановления параметров модели по эмпирическим данным. Для этого с помощью лабораторной установки были получены экспериментальные данные для исследования объекта управления и построения его математической модели. Результаты снятия экспериментального переходного процесса приведены в Приложении А.

Нормирование переходных процессов проводилось в MathCAD-е по следующему соотношению:

$$Tk_i = \frac{Tk_i - Tk_{\min}}{Tk_{\max} - Tk_{\min}}. \quad (4)$$



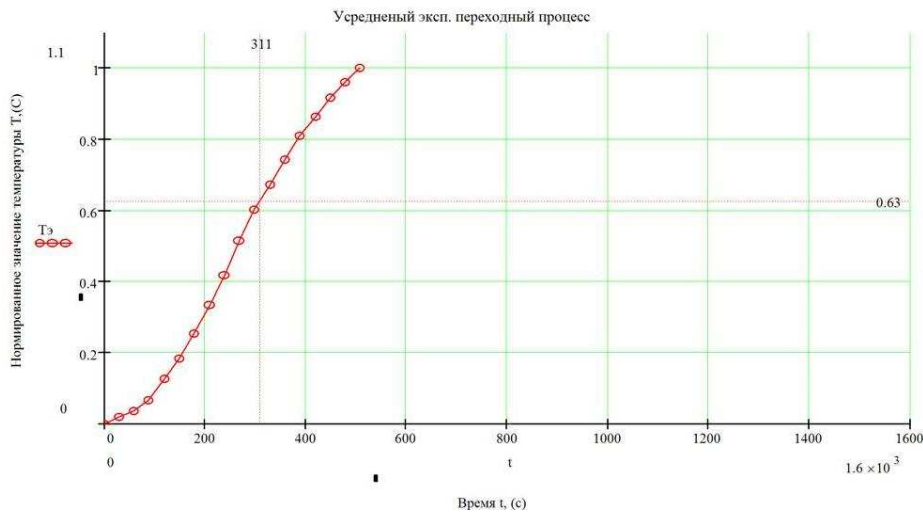
**Рис. 2. Экспериментальный нормированный переходной процесс**

Так динамика этих процессов совпадает, то можно для улучшения экспериментальных данных усреднить два процесса, и для усреднённого процесса искать аппроксимирующую модель объекта управления. Усреднённый переходный процесс изображён на рис. 3.

Структура аппроксимирующего выражения для передаточной функции объекта может быть выбрана в общем случае в виде:

$$W_o(s) = \frac{K_o e^{-s\tau}}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)^q}. \quad (5)$$

Коэффициент усиления объекта управления  $K_o$  можно найти по статической характеристике. Постоянные времени передаточной функции могут быть найдены по реакции системы на единичный скачок, т.е. по полученному усреднённому переходному процессу.



**Рис. 3 – Усредненный переходный процесс**

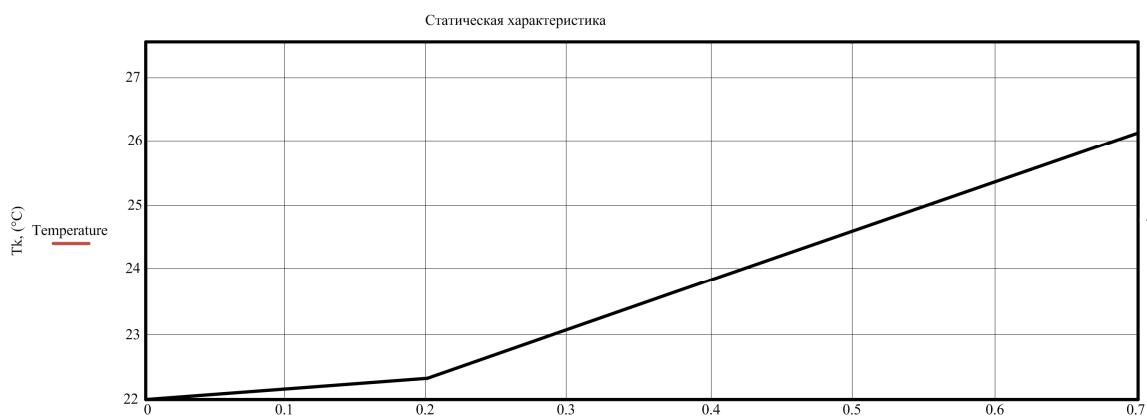
Коэффициент усиления объекта управления можно найти по его статической характеристике. В результате различных экспериментов были получены следующие результаты приведенные в таблице 1.

**Таблица 1**

**Построение статической характеристики**

|        |    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| t, час | 0  | 0.2  | 0.25 | 0.3  | 0.35 | 0.4  | 0.45 | 0.5  | 0.55 | 0.6  | 0.65 | 0.7  |
| T, °C  | 22 | 22.1 | 22.3 | 22.7 | 23.2 | 23.5 | 24.0 | 24.4 | 24.8 | 25.2 | 25.5 | 25.8 |

В результате статическая характеристика имеет вид, приведённый на рис. 4.



**Рис.4. Статическая характеристика**

Коэффициент усиления объекта управления определяется из соотношения:

$$k = \frac{\Delta T}{\Delta I} . \quad (6)$$

При  $q=0$  получаем математическую модель первого порядка с запаздыванием:

$$W(s) = \frac{K e^{-s\tau}}{Ts + 1}. \quad (7)$$

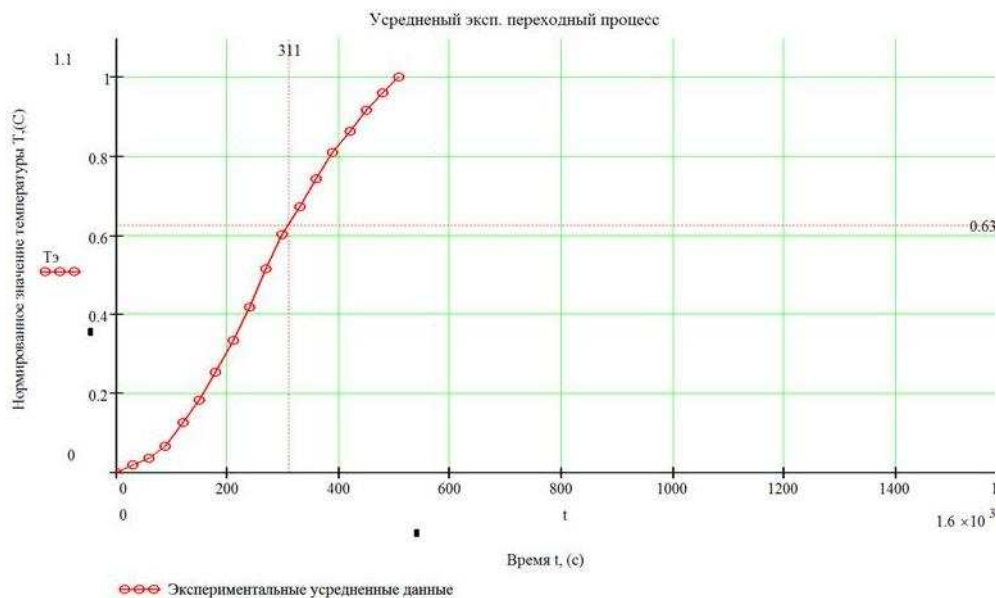
Коэффициент усиления для нормированного переходного процесса равен единице. Постоянную времени можно найти из соотношения:

$$h(T) = y(T); \quad (8)$$

$$h(t) = 1 - e^{-1/T}; \quad (9)$$

$$y(T) \approx 0.63; \quad (10)$$

То есть для нахождения постоянной времени нужно провести прямую на уровне 0.63 до пересечения с графиком переходного процесса. Так как экспериментальный переходный процесс не является процессом первого порядка, то для его описания необходимо ввести запаздывание  $\tau=61$ .



**Рис. 5. Усредненный переходный процесс**

$$W(s) = \frac{K_0 e^{-s\tau}}{Ts + 1}; \quad (11)$$

$$T = 7,1; \quad (12)$$

$$W(s) = \frac{e^{-61s}}{7,1s + 1}. \quad (13)$$

Проведем в точке перегиба касательную, для определения интервала времени  $T_0$ , заключенного между точками пересечения этой касательной оси абсцисс и линии установившегося значения  $h(\infty)$  переходной характеристики. В рассматриваемом случае:  $T_0=8,0$ ,  $t_n=150$ ,  $h(t_n)=0,181$ . Введем обозначение:

$$b = \frac{h(t_n)}{h_\infty} = 0,181 \quad (q=1).$$

Возьмем запаздывание  $\tau=0$ , тогда получаем следующую модель:

$$W_o(s) = \frac{K_o}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)}. \quad (14)$$

Для нахождения  $T_0$  проводим касательную через точку перегиба и находим точки её пересечения с уровнями 0 и 1.

Применим алгоритм метода Ротаха для звена 2-го порядка, т.е.  $q=1$   $\tau=61$ :

$$x = 3,7;$$

$$\varphi(x) = \frac{x \cdot \ln(x)}{x - 1};$$

$$F(x) = 1 - (1 + x) \cdot e^{-\varphi(x)};$$

$$\text{Given } F(x) - b = 0;$$

$$\Theta = \text{Find}(x) \quad \Theta = 6,32.$$

Рассчитаем значения постоянных времени:

$$T_1 = T_0 \cdot e^{-\varphi(\Theta)};$$

$$T_2 = T_1 \cdot \Theta;$$

$$T_1 = 49,229;$$

$$T_2 = 8,131$$

Передаточная функция будет иметь вид:

$$\tau = 61 \quad q = 1 \quad W_3(s) = \frac{K \cdot e^{-s \cdot \tau}}{(49,229 \cdot s + 1) \cdot (8,131s + 1)^q}$$

Для оценки качества полученных передаточных функций описывающих объект управления вычислим оценку  $\chi^2$ . По выполненным расчетам она составила  $\chi^2 = 0,343$ . Данная точность достаточна для проведения исследования системы автоматического регулирования.

### Список литературы

1. Автоматизация систем вентиляции и кондиционирования воздуха/ Е.С. Бондарь, А.С. Гордиенко, В.А. Михайлов, Г.В. Нимич. Под общей редакцией Е.С. Бондаря. К.: ТОВ «Видавничий будинок Авантпост-Прим» 2005. 560 с.
2. Автоматика и автоматизация систем теплогазоснабжения и вентиляции: Учеб. для вузов/ А.А. Калмаков, Ю.Я. Кувшинов, С.С. Романова, С.А. Щелкунов; под ред. В.Н. Богословского. М.: Стройиздат, 1986. 469 с.
3. Мухин О.А. Автоматизация систем теплогазоснабжения и вентиляции: уч. для вузов. Минск: Высшая школа, 1986. 304 с.

Ершов Сергей Викторович, канд. техн. наук, проф., доц., [erschov.serrg@mail.ru](mailto:erschov.serrg@mail.ru),  
Россия, Тула, Тульский государственный университет,

Сергеева Татьяна Евгеньевна, инженер, [kafelene@rambler.ru](mailto:kafelene@rambler.ru), Россия, Тула, Тульский государственный университет

SEARCHING OF THE ADAPTIVE SYSTEM  
AUTOMATIC CONTROL OF THE MICROCLIMATE

S.V. Ershov, T.E. Sergeeva

*The methodology of research of adaptive systems of maintenance of the required parameters of the microclimate in the room. Mathematical model of adaptive control system parameters of the microclimate.*

*Key words: heat supply, microclimate, heating, ventilation, automatic control system.*

Ershov Sergey Victorovich, candidate of technical science, docent, [ershov.serrg@mail.ru](mailto:ershov.serrg@mail.ru), Russia, Tula, Tula State University.

Sergeeva Tatiana Evgenyevna, engineer, [kafelene@rambler.ru](mailto:kafelene@rambler.ru), Russia, Tula, Tula State University

УДК 621.331

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ  
ПОМЕЩЕНИЙ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНО – АДАПТИВНЫХ  
СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ  
МИКРОКЛИМАТА**

С.В. Ершов, Т.Е. Сергеева

*Рассмотрены методы и модели моделирования микроклиматических параметров помещений, в которых применяются системы автоматического регулирования параметров микроклимата. В основу методики моделирования положен комбинированный способ управления параметрами микроклимата помещений.*

*Ключевые слова: теплоснабжение, микроклимат, отопление, вентиляция, проектирование.*

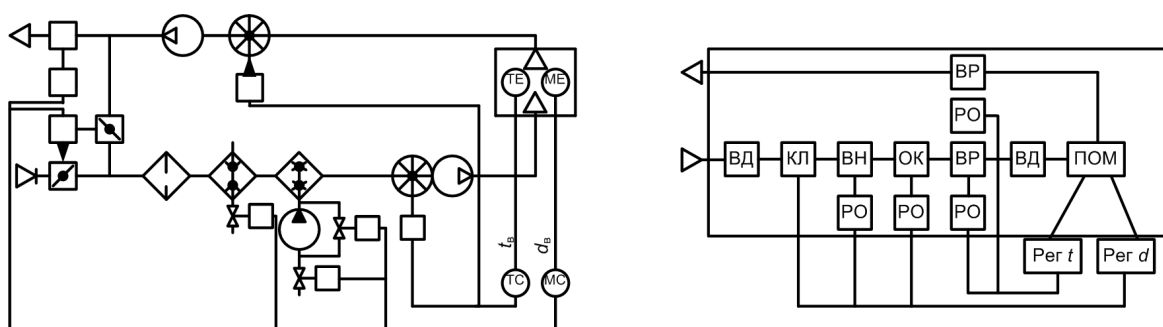
Поддержание требуемых микроклиматических условий в помещениях многоэтажных зданий с разветвленной структурой является сложной задачей, поскольку микроклиматические условия в помещениях создаются работой систем теплоснабжения, вентиляции, обогрева, кондиционирования и воздействием внешней среды. [1, 2]. Значительно улучшить поддержание требуемых параметров микроклимата позволит применение интеллектуально-адаптивной системы автоматического регулирования. Однако,

в данном случае возникает проблема описания температурного состояния помещения как объекта регулирования.

Для моделирования помещения как объекта регулирования необходимо структурировать интеллектуально-комбинированную систему автоматического поддержания микроклимата. Этого можно добиться описанием элементов системы автоматического регулирования отдельными звеньями.

Каждое звено системы характеризуется выходной величиной или регулируемым параметром. Все воздействия на звено будут подразделяться на возмущающие и управляющие. Возмущающее воздействие отклоняет регулируемый параметр от заданного значения. Управляющее (регулирующее) воздействие используется для того, чтобы вернуть регулируемый параметр к заданному значению. Контур регулирования — последовательный ряд звеньев объекта и регулятора, которые могут иметь обратные связи. В контур регулирования (рис. 1) входит ряд элементов системы, объединяемых общим понятием «объект регулирования», первичный преобразователь (датчик), вторичный преобразователь и исполнительный механизм. Последние три элемента объединены понятием «автоматический регулятор». Так, для регулятора температуры входной величиной является температура, а выходной — перемещение исполнительного механизма (в %). Регулятор в задаче выбора настроек будем считать безынерционным звеном.

Звенья системы автоматического регулирования, как правило, расположены по отношению друг к другу и с учетом направления движения воздуха. Так, отдельные аппараты систем образуют последовательно расположенные звенья. Одноименные звенья в зональных контурах автоматической стабилизации будут являться параллельными.



**Рис. 1. Функциональная схема интеллектуально-адаптивной системы управления в помещении (а) и структурная схема системы (б) с двумя контурами стабилизации: ВД — воздуховод; КЛ — воздушный клапан; ВН — воздухонагреватель; ОК — оросительная камера; ВР — вентилятор; РО — регулирующий орган; ПОМ — помещение; РЕГ — регулятор**

Для корректной работы интеллектуально-адаптивной системы автоматического поддержания параметров микроклимата требуется оценивать статические и динамические характеристики помещения как объекта стабилизации температуры. Математическое описание процесса осложнено рядом факторов. Рассмотрим их подробнее. Источники теплоты произвольным образом распределены в объеме помещения; места подачи воздуха тоже расположены произвольно; мощности источников и расходы воздуха в отдельных частях помещения не сбалансированы. Вследствие этого температура воздуха как регулируемый параметр оказывается распределенной сложным образом в объеме помещения. Особенно значительная неравномерность наблюдается в той части, откуда поступает приточная неизотермическая струя (обычно в верхней зоне). Источники теплоты в помещении лучисто-конвективные, при этом конвективная теплота поступает в воздух, а лучистая — на поверхность ограждений и оборудования. Плотность теплового потока на разных поверхностях неодинакова. Вместе с изменением температуры воздуха происходит изменение температуры ограждений и оборудования, зависящее от размеров и теплофизических характеристик материалов, периода колебаний температуры (в периодическом процессе). Оборудование может иметь достаточно сложную форму и представление его простейшим телом (пластиной, шаром или цилиндром) может привести к существенной погрешности. При некоторых возмущениях, таких как воздухоприток помещения  $Q_{\text{пом}}$  и температура наружного воздуха  $t_{\text{нар}}$  изменяется как лучистая, так и конвективная теплота. При других воздействиях — управляющих, таких как температура приточного воздуха  $t_{\text{пр}}$ , и массовый воздухообмен  $G_{\text{в}}$  — вносится только конвективная теплота. Описание конвективного теплообмена осложнено тем, что его интенсивность, оцениваемая коэффициентом теплообмена  $\alpha_{\text{к}}$ , переменная и может быть определена только приближенно, так как зависит от разных факторов. Из них наиболее существенны схема организации воздухообмена, вид струй по отношению к поверхности ограждений (настилающиеся, отрывные), форма струй (плоские, коноидальные, осесимметричные), кратность воздухообмена в помещении.

Помещение будем рассматривать как объект в сосредоточенных параметрах, поэтому уравнение теплового баланса будем составлять относительно температуры уходящего воздуха, принимаемой в общем случае не равной температуре в рабочей (обитаемой) зоне. Основные ограждения рассматриваются как пластины, в которых тепловой поток в продольном направлении отсутствует. Коэффициент теплообмена рассматривается как средний по площади ограждений. Теплофизические параметры ограждений и оборудования в рассматриваемом диапазоне температур постоянны.

В зависимости от физического характера возмущающих (при разомкнутой САР) и управляющих (при замкнутой САР) воздействий могут потребоваться как переходные, так и амплитудно-частотные характеристи-

ки помещения. Например, при работе регулятора могут возникать затухающие колебания. Периодически изменяются отдельные составляющие тепловой нагрузки, температура наружного воздуха. Те же составляющие и солнечная радиация могут меняться неупорядоченно (иначе стохастически).

Рассмотрим характерное управляющее воздействие — температуру приточного воздуха — и составим исходное уравнение теплового баланса за малый отрезок времени  $d\tau$ :

$$dQ_{np} + dQ_{вн} - dQ_{yx} - dQ_{огр} - dQ_{об} - dQ_{\epsilon} = 0, \quad (1)$$

где  $dQ_{np}$ ,  $dQ_{вн}$ ,  $dQ_{yx}$ ,  $dQ_{огр}$ ,  $dQ_{об}$  и  $dQ_{\epsilon}$  — соответственно количество теплоты, поступающей с приточным воздухом, выделяемой источниками и уходящей с воздухом в ограждения и оборудование и идущей на повышение температуры воздуха в помещении.

При рассматриваемом управляющем воздействии возмущение в виде переменного количества теплоты будет поступать конвективным путем. Каждое из слагаемых уравнения теплового баланса помещения (1) может быть записано отдельно:

$$\left. \begin{aligned} dQ_{\epsilon} &= V_{ном} c_{p\epsilon} \rho_{\epsilon} dt_{yx}; \\ dQ_{np} &= K_p V_{ном} c_{p\epsilon} \rho_{\epsilon} t_{np} d\tau; \\ dQ_{вн} &= Q_{вн} d\tau; \\ dQ_{yx} &= K_p V_{ном} c_{p\epsilon} \rho_{\epsilon} t_{yx} d\tau. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Наибольшие сложности связаны с выражением количества теплоты, поглощаемой ограждениями и оборудованием. При использовании граничных условий третьего рода можно записать:

$$\begin{aligned} dQ_{огр} &= \alpha_{\epsilon} F_{огр} (t_{yx} - t_{\epsilon.нов}) d\tau; \\ dQ_{об} &= \alpha_{\epsilon} F_{об} (t_{yx} - t_{\epsilon.нов}) d\tau. \end{aligned} \quad (3)$$

Приблизительно будем полагать, что температура внутренней поверхности будет изменяться экспоненциально при скачкообразном изменении температуры воздуха. Тогда справедливы уравнения:

$$\left. \begin{aligned} T_{огр} dt_{\epsilon.нов} / d\tau + t_{\epsilon.нов} &= K_{огр} t_{yx}; \\ T_{об} dt_{\epsilon.нов} / d\tau + t_{\epsilon.нов} &= K_{об} t_{yx}, \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где  $K_{огр}$ ,  $K_{об}$  — коэффициенты передачи для поверхностей ограждения и оборудования как звена САР (для оборудования он равен единице);  $T_{огр}$ ,  $T_{об}$  — постоянные времени для поверхности ограждений и оборудования. Эти величины определяются по формулам:

$$K_{орз} = \left[ 1 + \alpha_{окр} / \alpha_v (1 - Bi_{окр}) \right]^{-1};$$

$$T_{орз} = (c\rho\delta)_{орз} / \left[ \alpha_{окр} + \alpha_v (1 - Bi_{окр}) \right];$$

$$T_{орз} = (c\rho\delta)_{об} / 2\alpha_v.$$

Значение  $\alpha_v$  при отсутствии данных можно принять приближенно в зависимости от кратности воздухообмена и вида струй по данным [2]:  $\alpha_v \approx (1 \div 2) K_p^{0.7}$ , где коэффициент, равный единице, принимают при отрывных струях, а равный двум – при настильных.

После решения систем уравнений (1)–(4) с помощью преобразования Лапласа оказалось, что динамические свойства помещения зависят от кратности воздухообмена  $K_p$ , обобщенного размера помещения  $l_v$  как отношения объема помещения  $V_{пом}$  к площади поверхности ограждений и оборудования  $F$ , статических и динамических характеристик ограждений и оборудования.

При управляющем воздействии – изменении температуры приточного воздуха – для реальных значений  $K_p$ ,  $l_v$ ,  $K_{отр}$  и  $T_{отр}$  получена передаточная функция помещения в виде

$$W(p) = \frac{T_{орз} p + 1}{Tp + 1} K_{ном}.$$

Этой передаточной функции соответствует амплитудно-частотная характеристика (АЧХ)

$$A(\omega) = K_{ном} \sqrt{\left[ 1 + T_{орз}^2 \omega^2 \right] / \left( 1 + T^2 \omega^2 \right)} =$$

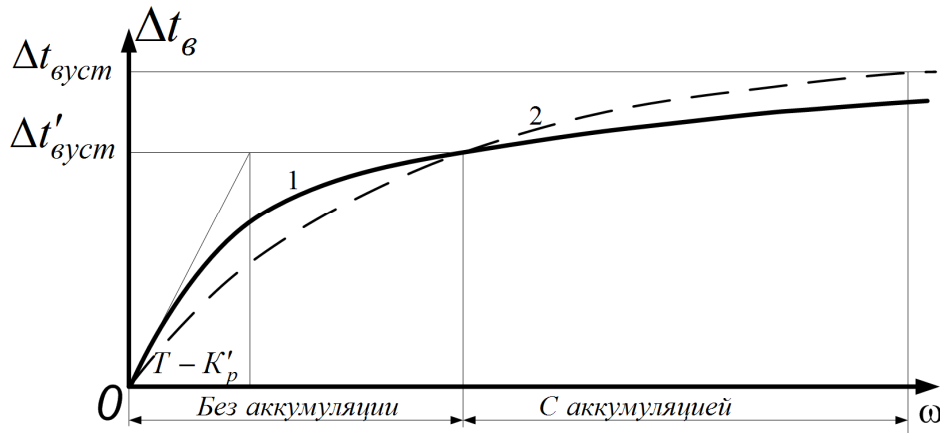
$$= K_{ном} T_{орз} / T \approx \left[ 1 + \alpha_v / \left( c_{pв} \rho_v l_v K_p \right) \right]^{-1}.$$

Кривая переходного процесса изменения температуры воздуха в помещении показана на рис. 2. В ее начальной части изменение температуры происходит быстро. Это объясняется тем, что поступающая в помещение теплота идет на изменение температуры воздуха в объеме помещения и не аккумулируется ограждениями и оборудованием. Последнее становится заметным при значении критерия Фурье  $Fo = a\tau / h^2 > 0,2$ , что соответствует времени  $\tau > 0,2h^2 / a$ .

Скорость изменения температуры в начальной части кривой зависит от интенсивности вентилирования помещения, характеризуемой кратностью воздухообмена  $K_p$ . Этот отрезок времени по литературным данным составляет  $(3 \div 4) K_p^{-1}$ .

По мере аккумуляции теплоты ограждениями и оборудованием скорость изменения температуры воздуха замедляется и переходный процесс в помещении зависит от инерционных свойств ограждений (постоян-

ной времени  $T_{огр}$ , составляющей порядка десятка часов), поэтому теоретический конец переходного процесса достигается спустя несколько суток.



**Рис. 2** Кривая переходного процесса изменения температуры воздуха в помещении: 1 – опытная кривая; 2 — теоретическая экспонента,  $\Delta t_{в,уст}$  – теоретически установившееся значение;  $\Delta t'_{в,уст}$  — температура воздуха к моменту начала аккумуляции теплоты ограждениями

На кривой переходного процесса изменения температуры в помещении обычно наблюдаются две части. В начальной части процесс изменения температуры происходит быстро. Затем, спустя несколько часов, в кривой происходит некоторый перелом, и рост температуры замедляется, что объясняется аккумуляцией теплоты ограждениями и оборудованием. Верхним пределом инерционности помещения является постоянная времени ограждения (порядка десятка часов).

Свойства помещения при колебаниях высокой частоты можно аппроксимировать аperiодическим звеном первого порядка с коэффициентом передачи  $K_{пом}$  и постоянной времени  $T_{пом}$

$$T_{пом} = 2\sqrt{T(T - T_{огр})} - T; K_{пом} = [1 + M_{огр}(1 - K_{огр})]^{-1},$$

где

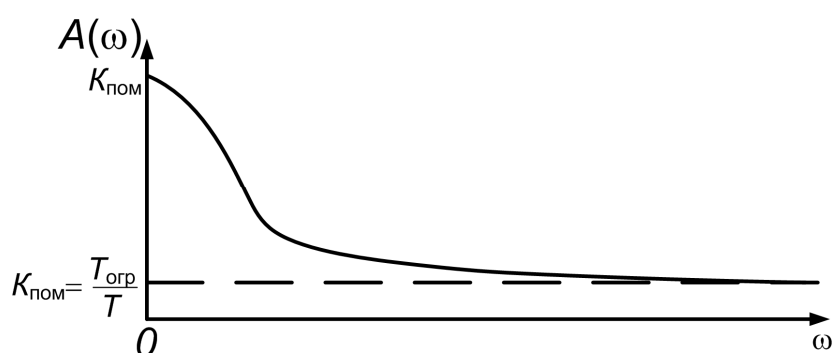
$$T = \left\{ [K_p(1 + M_{огр})]^{-1} + T_{огр} \right\} / (1 - K_v K_{огр});$$

$$K_v = (1 + M_{огр}^{-1})^{-1}; M_{огр} = \alpha_v / c_p \rho_v l_v K_p.$$

Помещение как объект регулирования температуры может «работать» на существенно различных частотах колебаний возмущающих и управляющих воздействий. Колебания с периодом порядка десятка минут характерны для работы автоматического регулятора. Периоды от нескольких минут до часов характерны для изменения составляющих тепловой нагрузки помещения. Генерирование колебаний с периодом 1–3 ч происхо-

дит в помещениях, где требуется создать динамический температурный режим. Изменение солнечной радиации, если оно упорядоченно, имеет суточный период. В разложении хода температуры наружного воздуха наибольшие амплитуды приходится на период «сутки» и «год».

Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) помещения как объекта стабилизации температуры показана на рис. 3. При низких частотах колебаний ( $\omega > 0$ ) АЧХ приближается к коэффициенту передачи  $K_{\text{пом}}$ . На промежуточных частотах АЧХ помещения меняется; при  $\omega \rightarrow \infty$  определяется выражением  $A(\omega) = K_{\text{пом}} T_{\text{огр}} / T$ . Ограждения и оборудование учитывают в пределах толщины, определяемой слоем резких колебаний  $RS_{\tau} = 1$ , где  $S_{\tau}$  – коэффициент теплоусвоения материала при периоде  $\tau$ .



**Рис. 3. Амплитудно-частотная характеристика помещения как объекта стабилизации температуры**

Таким образом, в задачах, где периоды колебаний малы, можно пренебрегать инерционностью ограждений. В этом случае переходный процесс характеризуется постоянной времени, обратной кратности воздухообмена.

### Список литературы

1. Автоматизация систем вентиляции и кондиционирования воздуха/ Е.С. Бондарь, А.С. Гордиенко, В.А. Михайлов, Г.В. Нимич / под общей редакцией Е.С. Бондаря. К.: ТОВ «Видавничий будинок Авантпост-Прим» 2005. 560 с.
2. Автоматика и автоматизация систем теплогазоснабжения и вентиляции: учеб. для вузов/ А.А. Калмаков, Ю.Я. Кувшинов, С.С. Романова, С.А. Щелкунов; под ред. В.Н. Богословского. М.: Стройиздат, 1986. 469 с.
3. Гусев В.М., Ковалев Н.И., Попов В.П., Потрошков В.А. Теплотехника, отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха: уч. для вузов. М: Стройиздат, 1981. 343 с.
4. Мухин О.А. Автоматизация систем теплогазоснабжения и вентиляции: уч. для вузов. Минск: Высшая школа, 1986. 304 с.

5. Фаликов В.С., Витальев В.П. Автоматизация тепловых пунктов. Справочное пособие. М.: Энергоатомиздат, 1989. 255 с.

*Ершов Сергей Викторович, канд. техн. наук, проф., доц., [erschov.serrg@mail.ru](mailto:erschov.serrg@mail.ru), Россия, Тула, Тульский государственный университет,*

*Сергеева Татьяна Евгеньевна, инженер, [kafelene@rambler.ru](mailto:kafelene@rambler.ru). Россия, Тула, Тульский государственный университет*

**MATHEMATICAL MODELLING OF PARAMETERS OF THE PREMISES IN THE  
INTELLECTUAL - ADAPTIVE SYSTEMS  
AUTOMATIC CONTROL OF THE  
MICROCLIMATE**

*S.V. Ershov, T.E. Sergeeva*

*Methods and models modeling microclimatic parameters of the premises, which apply the system of automatic control of parameters of the microclimate are considered. The methodology of modeling laid combined method of control of parameters of microclimate in premises.*

*Key words: heat supply, microclimate, heating, ventilation, engineering.*

*Ershov Sergey Victorovich, candidate of technical science, docent, [erschov.serrg@mail.ru](mailto:erschov.serrg@mail.ru), Russia, Tula, Tula State University,*

*Sergeeva Tatiana Evgenyevna, engineer, [kafelene@rambler.ru](mailto:kafelene@rambler.ru), Russia, Tula, Tula State University.*

УДК 621.833

**МНОГОКАНАЛЬНАЯ СХЕМА ЗАЩИТЫ ОТ КОРОТКОГО  
ЗАМЫКАНИЯ В НАГРУЗКЕ НА БАЗЕ РЕЛЕ НАПРЯЖЕНИЯ**

**В.М. Степанов, А.О. Казаков**

*Рассмотрены преимущества использования реле напряжения для защиты цепей питания постоянного тока от короткого замыкания в нагрузке. Авторами разработана оригинальная схема защиты двухполярного блока питания и защита нескольких питающих цепей от короткого замыкания в нагрузке.*

*Ключевые слова: реле, цепь питания, постоянный ток, оперативный ток, короткое замыкание.*

Для защиты электронных устройств от короткого замыкания в нагрузке используют плавкие вставки - предохранители. Данный способ защиты достаточно дешев, но имеет ряд существенных недостатков. Главные из них, это низкое быстродействие из-за высокой тепловой инерции

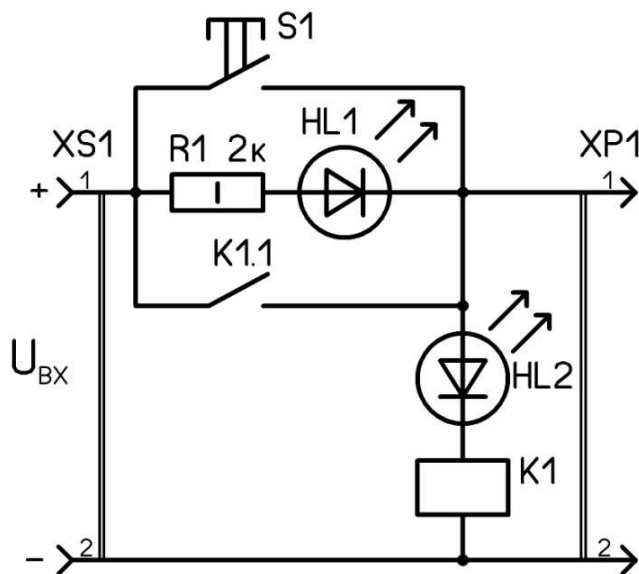
вставок. Например, в схемах содержащих полупроводниковые приборы, которые термически малостойки, короткое замыкание приведет в вывод их из строя.

Наряду с плавкими предохранителями широко используют электронные и электромеханические устройства защиты. Эти устройства имеют высокую скорость срабатывания, индикацию режимов работы. В защите от короткого замыкания в нагрузке, нуждаются источники постоянного оперативного тока на подстанциях используемые для питания устройств РЗиА, управления высоковольтными выключателями, аварийной и предупредительной сигнализации, а также для других устройств требующих питание от независимого источника постоянного напряжения. Также, в защите от коротких замыканий нуждается большинство питающих устройств низковольтной аппаратуры.

Существует много различных схем защиты, рассмотрим например простейший и эффективный вариант защиты от короткого замыкания в нагрузке изображенный на рисунке 1. [1, с.388]

Данное устройство представляет из себя четырехполюсник включаемый между блоком питания и нагрузкой. После подачи напряжения на контакты XS1 ( $U_{вх}$ ), на входе устройства появляется напряжение, но оно не поступает в нагрузку. Для включения защиты нужно кратковременно нажать на кнопку S1 «Пуск». Это приведет к кратковременному поступлению напряжения на катушку реле K1. Реле включится, его контакты K1.1 замкнутся, защита перейдет в нормальный режим работы (подача напряжения на контакты XP1, к которым подключена нагрузка). Загорится светодиод HL2 (зеленый) индуцируя нормальный режим работы. Если произойдет короткое замыкание в нагрузке, то питающее напряжение на катушке реле K1 снизится, реле разомкнет свои контакты K1.1 и отключит нагрузку и свою катушку. Светодиод HL1 (красный) загорится (так как через сопротивление R1 на него будет поступать ток) сигнализируя о коротком замыкании и отключении нагрузки от цепи питания. В таком состоянии схема защиты может находиться сколь угодно долго, что не вызовет никаких повреждений в цепях питания так как нагрузка отключена от источника напряжения. После устранения причин короткого замыкания. Необходимо снова нажать кнопку S1, что приведет к переводу защиты в нормальный режим.

Реле подбирается в зависимости от напряжения нагрузки. Максимальный ток нагрузки определяется максимальным пропускным током через контакт K1.1 реле K1. Время срабатывания зависит от конкретного типа выбранного реле. Светодиоды HL1, HL2 и сопротивление R1 подбираются и рассчитываются в зависимости от напряжения питания. На схеме приведены номиналы для напряжения питающей цепи 12В (HL1, HL2 - АЛ307Б и АЛ307Г соответственно).



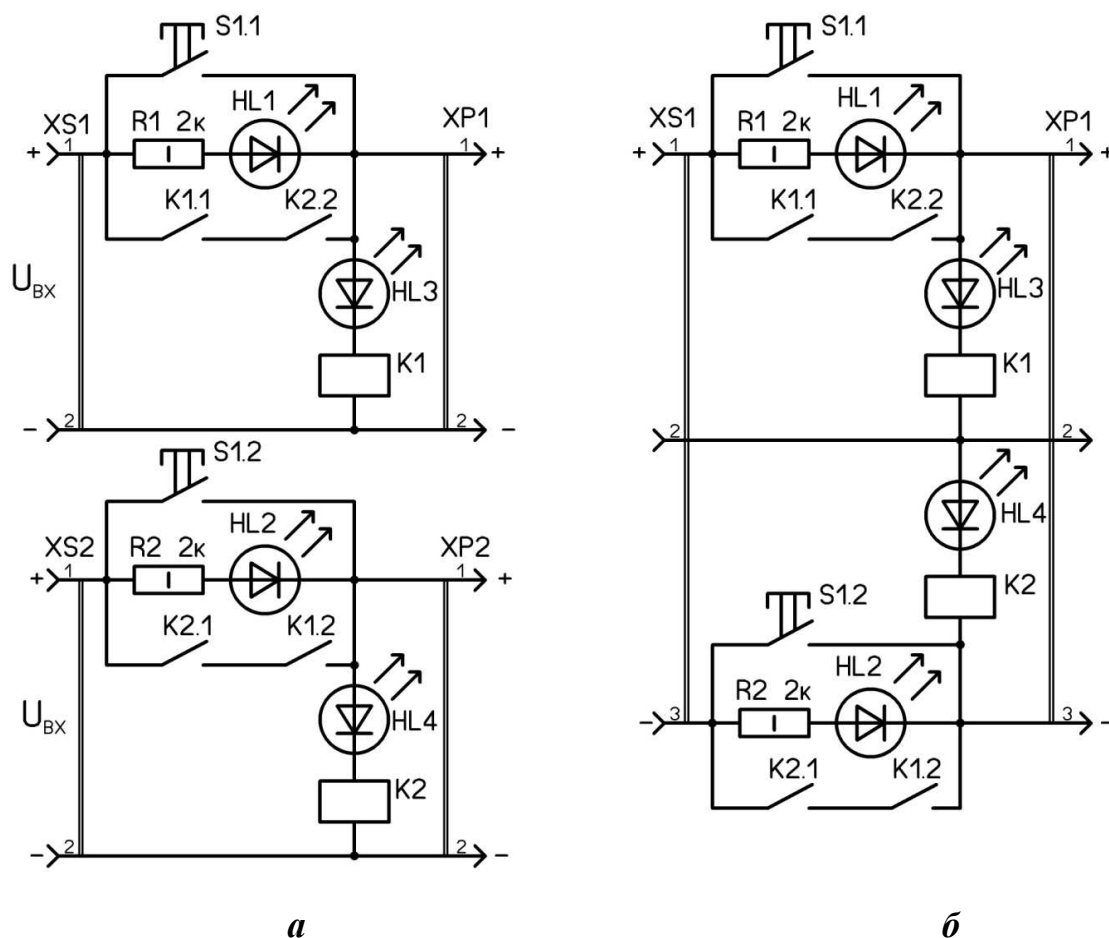
**Рис. 1. Схема защиты от короткого замыкания в нагрузке**

Наряду с однополярным, в устройствах питания электронной аппаратуры присутствует двухполярное, а также многоканальное питание. В случае короткого замыкания в нагрузке одного канала питания, могут выйти из строя элементы других каналов аппаратуры. Так же рассогласованное действие защиты приводит к выходу из строя элементов схемы. Поэтому возникает необходимость в быстродействующей защите, отключающей одновременно все цепи питания в случае короткого замыкания в одной из них.

Используя принцип релейной защиты, изображенный на принципиальной схеме рис.1, мной был разработан способ использования реле для защиты от короткого замыкания в нагрузке двух самостоятельных источников питания постоянного тока. Данный способ позволяет отключать оба источника питания одновременно при возникновении короткого замыкания в нагрузке одного из них.

По данному принципу можно разработать схему защиты с одновременным отключением нескольких взаимозависимых источников питания, при КЗ в любом из них. Пример использования защиты на несколько каналов питания приведен на рисунке 2а. При возникновении короткого замыкания в нагрузке, например первого канала питания, реле K1 своими контактами K1.1 и K1.2 отключит сразу обе цепи нагрузки подключенные к вилке XP1 и XP2 соответственно. При этом загорятся светодиоды HL1, HL2 (красные) сигнализируя о возникновении короткого замыкания и отключении нагрузки от цепи питания. После устранения причин короткого замыкания в нагрузке достаточно кратковременно нажать двоящую кнопку S1 и система защиты перейдет в нормальный режим работы, о чем

будут свидетельствовать загоревшиеся светодиоды HL3, HL4 (зеленые). Аналогично работает схема защиты двухполярного источника напряжения изображенная на рисунке 2б.



**Рис. 2. Схема защиты от короткого замыкания в нагрузке**  
**а - защита двух цепей питания; б - защита двухполярного питания**

Разработанная схема имеет минимум компонентов, достаточно проста, не требует дополнительного питания, обладает высоким быстродействием и чувствительностью.

### Список литературы

1. Звуковая схемотехника для радиолюбителей: под ред. С.М. Янковского. СПб.: Наука и Техника, 2003. 400 с.
2. Устройство и обслуживание вторичных цепей электроустановок. 2-е издание, переработанное и дополненное. М.: Энергоатомиздат, 1986. 152 с.

Степанов Владимир Михайлович, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой, [energy@tsu.tula.ru](mailto:energy@tsu.tula.ru) Россия, Тула, Тульский государственный университет,

Казаков Александр Олегович, магистрант, [kazakov7191@mail.ru](mailto:kazakov7191@mail.ru) Россия, Тула, Тульский государственный университет.

# MULTICHANNEL SHORT-CIRCUIT PROTECTION CIRCUIT IN THE LOAD BASED RELAY VOLTAGE

V.M. Stepanov, A.O. Kazakov

*The advantages of using the relay voltage protection DC power from a load short-circuit. The authors have developed the original protection circuit dual power supply and protection of multiple supply circuits from short-circuit in the load.*

*Key words: relay, the power supply circuit, DC, operating current, short-circuit.*

*Stepanov Vladimir Michailovich, doctor of technical science, professor, manager of department, [energy@tsu.tula.ru](mailto:energy@tsu.tula.ru), Russia, Tula, Tula State University,*

*Kazakov Alexandr Olegovich, candidate of master, [kazakov7191@mail.ru](mailto:kazakov7191@mail.ru), Russia, Tula, Tula State University*

УДК 621.833

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ЭФФЕКТИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРОПИТАЮЩИХ СИСТЕМАХ

В.М. Степанов, П.Ю. Каратеев

*Рассмотрена система обеспечения эффективного использования и распределения электрической энергии в электропитающих системах.*

*Ключевые слова: эффективное использование и распределение электроэнергии, система автоматического управления.*

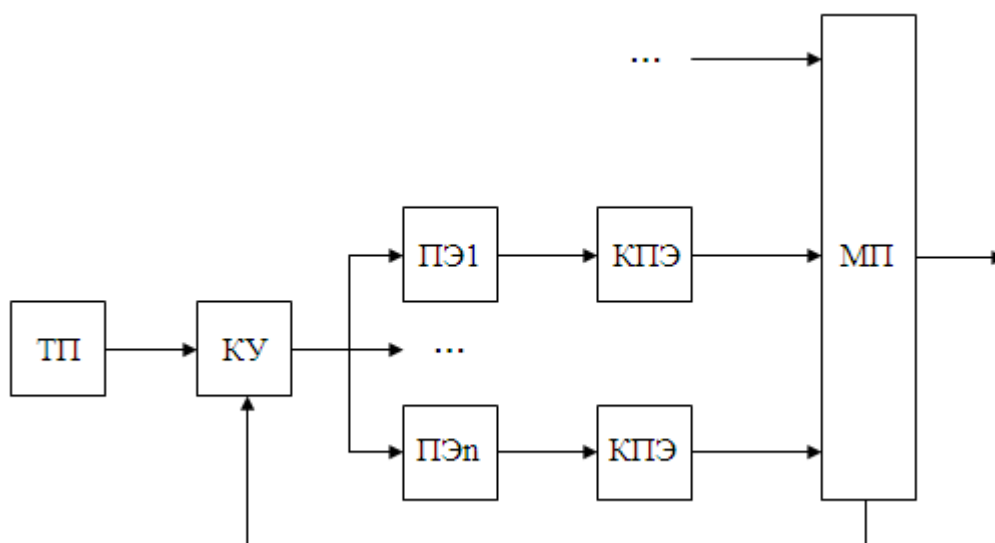
Эффективное использование электрической энергии не только связано с её качеством, но и требуемым потреблением электроэнергии электроэнергетическим и электротехническим оборудованием электропитающих систем.

Поскольку процесс включения и отключения электропотребителей носит динамический характер, то одним из показателей эффективности использования электроэнергии является техническое использование электрооборудования, т.е. возникает формирование нагрузки ниже её значения.

Поэтому необходимо вести контроль за формированием (включением или отключением электрооборудования) нагрузки и в случае, если она ниже требуемого значения для конкретного объекта обеспечить перераспределение электроэнергии между её потребителями в объектах электропитающих систем а зависимости от формирования в них нагрузок [1].

Структура, функционально связывающая электротехнические устройства, обеспечивающие эффективное использование и распределение электроэнергии в электропитающих системах, должна включать непрерывный контроль и управление качеством электрической энергии, непрерывный контроль и управление формированием нагрузок в объектах потребления электрической энергии.

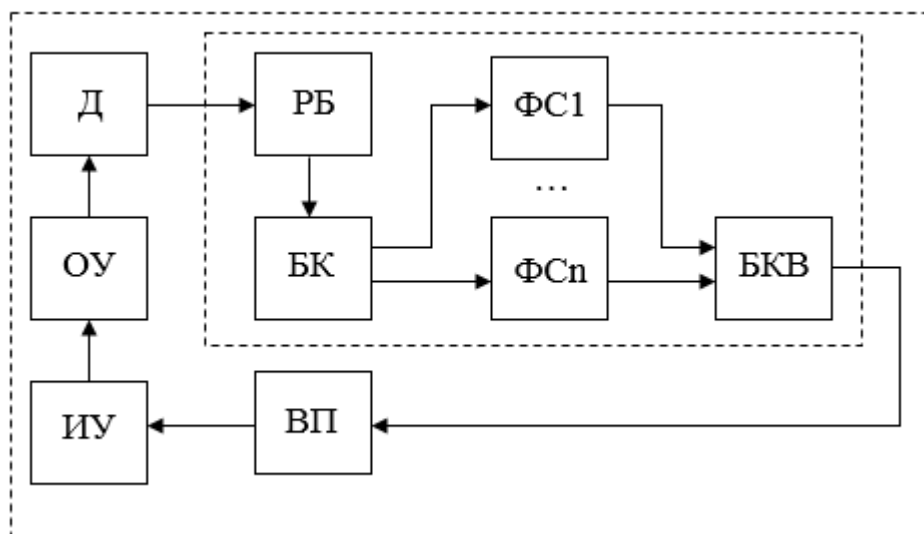
Ключевым звеном схемы является микропроцессорное устройство управления, которое получает информацию от устройств контроля потребления электроэнергии каждого из потребителей и формирует управляющие сигналы для устройств коммутации, установленных на трансформаторной подстанции с целью регулирования и перераспределения электроэнергии, а также включения электротехнических устройств контроля качеством электроэнергии.



**Рис. 1. Структура, функционально связывающая электротехнические устройства, обеспечивающие эффективное использование и распределение электроэнергии в электропитающих системах:**  
**ТП – трансформаторная подстанция; КУ – коммутационные устройства; ПЭ – потребитель электрической энергии;**  
**КПЭ – контроль потребления электрической энергии;**  
**МП – микропроцессорное устройство управления**

Микропроцессорное устройство управления должно вести учет потребления электроэнергии со всех трансформаторных подстанций предприятия, для комплексного и полного контроля над формированием на-

грузки, эффективным потреблением электрической энергии и её перераспределением в соответствии с текущей картиной потребления [2].



**Рис. 2. Функциональная схема микропроцессорного устройства управления:** Д – датчики, РБ – расчетный блок, БК – блок коммутации алгоритмов управления, формирователи управляющих сигналов ФС1-п, БКВ – блок коммутации выхода, ВП – выходной преобразователь, ИУ – исполнительное устройство

Данная структура позволяет не только добиться значительного повышения точности, быстродействия, надежности и отказоустойчивости, но и обеспечить стабильность функционирования, а также придать системе такие свойства, как простота изменения структуры, гибкость регулировки, адаптивность, способность проводить сложные вычислительные процедуры и обратный контроль, что особенно актуально для крупных предприятий постоянно модернизирующих оборудование, изменяющего технологический процесс и увеличивающих объемы производства [3].

Использование микропроцессорного устройства управления связано с принципиальными изменениями, как структуры, так и характеристик: превалирующими становятся структуры с децентрализованным управлением, многопроцессорные системы, системы с перестраиваемой структурой, реализующие оптимальные алгоритмы цифрового управления и регулирования.

Программируемость микропроцессоров определяет возможность гибкой оперативной перестройки как алгоритма работы системы управления, так и ее структуры с целью приспособления к меняющимся условиям работы (расширение производства). При этом изменения не требуют сложных технических процедур. Свойство программируемости обеспечивает возможность внесения изменений в структуру и в программу работы системы на всех этапах – от предварительного проектирования до эксплуата-

ции.

### Список литературы

1. Сотсков Б. С. Основы теории и расчета надежности элементов и устройств автоматики и вычислительной техники. М.: Высшая школа, 1970. 270 с.

2. Эффективное использование электроэнергии / под ред. К. Смита; пер. с англ. М.: Энергоиздат, 1981. 400 с.

3. Кацман М. М. Электрические машины: учебник для студентов. 3-е изд., испр. М.: Издательский центр «Академия», 2000. 463 с.

*Степанов Владимир Михайлович, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой, energy@tsu.tula.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет,*

*Каратеев Павел Юрьевич, асп., karat.tulgu@ya.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет*

#### **POWER NETWORK ELECTRICAL ENERGY EFFICIENT UTILIZING AND DISTRIBUTION ELECTRICAL DEVICES OPERABILITY DEFENITION**

**V.M.Stepanov, P.Y.Karateev**

*Power network electrical energy efficient utilizing and distribution system is considered.*

*Key words: electrical energy distribution, automatic control system, power supply efficiency.*

*Stepanov Vladimir Mikhaylovich, doctor of technical science, professor, manager of department, energy@tsu.tula.ru, Russia, Tula, Tula State University,*

*Karateev Pavel Yuryevich, postgraduate, karat.tulgu@ya.ru, Russia, Tula, Tula State University*

## **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

П.Ю. Каратеев

*Рассмотрена оценка эффективности использования и распределения электрической энергии в системе электроснабжения промышленного предприятия на основании проведенного энергетического обследования.*

*Ключевые слова: распределение электроэнергии, система электроснабжения, энергоэффективность.*

Структура системы электрообеспечения промышленного предприятия включает в себя внутривозводские электросети высокого напряжения, понижающие цеховые трансформаторы, внутрицеховые электросети низкого напряжения, приемники электроэнергии. Основными потребителями электроэнергии являются: электропривод (70% потребляемой электроэнергии), электротермические установки (до 20%) и освещение (10%).

Система электроснабжения является подсистемой, как питающей энергосистемы, так и технологической системы. Следовательно, система электроснабжения промышленного предприятия оказывается на стыке этих двух систем, и ее режимы влияют и на первую, и на вторую. В свою очередь, питающая энергосистема и технологическая система предъявляют требования к параметрам режимов системы электроснабжения [1].

Технологическая система обязывает систему электроснабжения обеспечивать подачу электроэнергии в необходимом количестве и требуемого качества. То есть технология производства, во-первых, задает уровень электропотребления при номинальном напряжении на электроприемниках, а во-вторых, ограничивает допустимые пределы отклонения напряжения от номинального. Кроме того, предприятие заинтересовано в уменьшении платы за электроэнергию, то есть в уменьшении активной нагрузки системы электроснабжения.

С точки зрения питающей энергосистемы одним из основных показателей режимов работы системы электроснабжения является активная мощность, потребляемая в максимум нагрузки. Величина этой мощности определяется активной нагрузкой приемников и потерями мощности на передачу по элементам электросетей и цеховым трансформаторам. Снижение потребления активной мощности актуально как в период максимума, так и в остальные интервалы времени. Система электроснабжения должна также выполнять требования питающей энергосистемы к потреблению реактивной мощности.

Таким образом, эффективное электропотребление при эксплуатации системы электроснабжения Промышленного предприятия является насущной необходимостью.

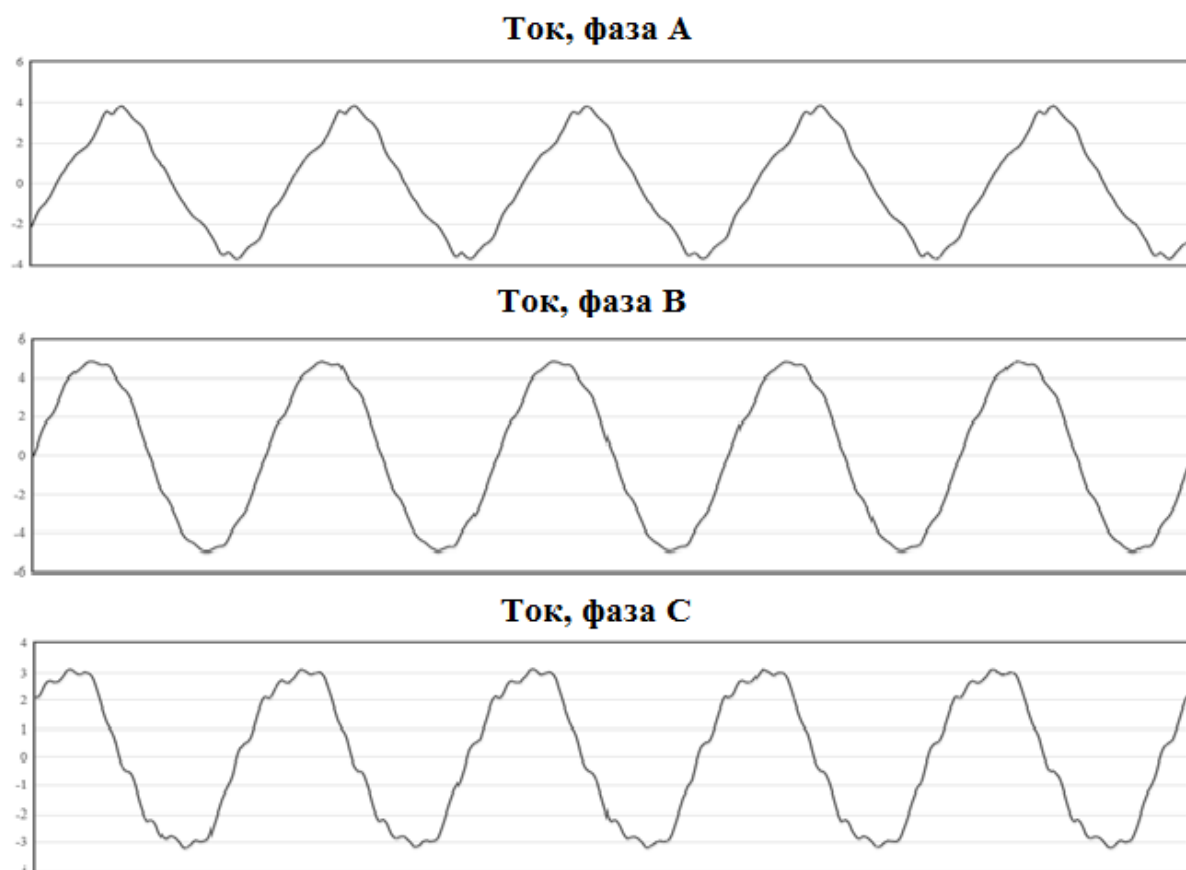
До настоящего времени предлагались следующие способы регулирования потребления активной мощности предприятием: отключение части электропотребителей при возникновении дефицита мощности в энергосистеме, изменение времени начала работы потребителей-регуляторов с целью выравнивания графика нагрузки, уменьшение потерь мощности на передачу в электросетях и трансформаторах система электроснабжения, повышение эффективности использования электроэнергии в приемниках [2].

Эффективное распределение и потребление электрической энергии в системе электроснабжения» может быть достигнуто за счет эффективного потребления и интеллектуальным контролем за распределением активной мощности без нарушения установившегося технологического процесса и при соблюдении у каждого приемника электроэнергии допустимых отклонений напряжения.

Система электроснабжения должна рассматриваться как единый комплекс, включающий в себя внутризаводские и цеховые электрические сети, конденсаторы и приемники электроэнергии. При этом, оптимизация режимов в системе электроснабжения осуществляется не только с учетом потерь мощности на передачу по электрической сети, но и с учетом изменения мощности приемников электроэнергии и конденсаторов при отклонении напряжения от номинального. Мощности приемников электроэнергии и конденсаторов при реальных величинах напряжения возможно определять в соответствии с их статическими характеристиками по напряжению.

Проблему эффективного электропотребления можно решить путем сравнения параметров режимов при разных вариантах сочетаний уровней напряжений и мощностей батарей конденсаторов. Такой путь достаточно трудоемок из-за большой размерности задачи. Задача оптимального управления режимом распределения потока электроэнергии в сетях системы электроснабжения формулируется следующим образом: обеспечить средствами регулирования напряжения, оперативного автоматического переключения, диспетчеризации и компенсации реактивной мощности, минимальный отпуск активной мощности от шин источников питания при соблюдении у всей массы приемников электроэнергии требуемых показателей электрической энергии [3].

В ходе проведения энергообследования ОАО «Трансмаш» было выявлено, что основной причиной нерационального расхода электроэнергии является физический износ электрического и технологического оборудования, перепады напряжения, а также несимметричность нагрузок по фазам (рис.1).



**Рис. 1. Осциллограмма токов на одном из вводов**

В настоящее время в условиях снижения производства и снижения уровня электропотребления повсеместно наблюдается недогрузка оборудования. Поэтому в качестве общего мероприятия может быть рекомендовано: за счет внутреннего перераспределения электротехнического оборудования с  $K_z = 0,2...0,5$  на оборудования меньшей номинальной мощности, чтобы добиться увеличения коэффициента загрузки. Для асинхронных двигателей эффективно применение автоматического частотно-регулируемого электропривода, дающего экономию электроэнергии не ниже 50...60%, что позволяет в среднем обеспечить срок окупаемости такой установки 1...2 года. Особенно эффективны такие частотно-регулируемые приводы для вентиляторов и насосов.

Повышение эффективности использования и распределения электрической энергии может быть также реализована путем установки дополнительных компенсаторов реактивной мощности, проведения футеровки закалочных печей, рекуперацией электрической энергии и установка системы комплексного учета и контроля за потреблением электрической энергии, обеспечивающей эффективное использование и распределение электроэнергии в электропитающих сетях.

### Список литературы

1. Сотсков Б. С. Основы теории и расчета надежности элементов и устройств автоматики и вычислительной техники. М.: Высшая школа, 1970. 270 с.
2. Эффективное использование электроэнергии / под ред. К. Сми-та; пер. с англ. М.: Энергоиздат, 1981. 400 с.
3. Кацман М. М. Электрические машины: учебник для студентов. 3-е изд., испр. М.: Издательский центр «Академия», 2000. 463 с.

*Каратеев Павел Юрьевич, асп., karat.tulgu@ya.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет*

#### *ENTERPRIZE POWER SUPPLY SYSTEM ELECTRICAL ENERGY EFFICIENT DISTRIBUTION AND UTILIZING ASSESSMENT*

*P.Y.Karateev*

*Enterprize power supply system electrical energy efficient distribution and utilizing assessment with reference to energy inspection.*

*Key words: electrical energy distribution, power supply system, power supply efficiency.*

*Karateev Pavel Yuryevich, postgraduate, karat.tulgu@ya.ru, Russia, Tula, Tula State University*

УДК 621.833

### **КОНТРОЛЬ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ**

**В.М. Степанов, В.С. Косырихин, И.М. Базыль, П.Ю. Каратеев**

*Рассмотрена структура, функционально связывающая электротехнические устройства, обеспечивающие эффективное использование, распределение и снижение потерь электроэнергии в электропитающих системах.*

*Ключевые слова: качество электрической энергии, эффективное использование электроэнергии, потери электрической энергии.*

Использование электрической энергии определяется не только показателями качества электроэнергии питающей сети, но и заданным потреблением электроэнергии электротехническим оборудованием объектов нагрузки, а также их влиянием на качество электроэнергии (гармонические

составляющие от электронной нагрузки и т.д.).

Изменение потребления электроэнергии объектов нагрузки происходит непрерывно – включается и выключается технологическое оборудование, варьируется его потребляемая мощность – это обуславливает необходимость контроля над распределением электрической энергии и формированием нагрузки [1].

Следует отметить, что практически все показатели качества электроэнергии зависят от потребляемой промышленными электроприемниками реактивной мощности. Поэтому вопросы качества электрической энергии необходимо рассматривать в непосредственной связи с проблемами компенсации реактивной мощности, фильтрации гармоник, перекосами фаз и несимметричностью нагрузок.

Структурой, функционально связывающей электротехнические устройства, обеспечивающие эффективное использование, распределение и снижение потерь электроэнергии в электропитающих системах может выступать структура контроля и управления качеством электрической энергии (рис. 1). Измерительной основой данной структуры являются анализаторы качества электроэнергии. Анализатор качества измеряет основные параметры электроэнергии в узловых точках распределения электрической энергии: установившееся значение напряжения и отклонения, длительность провалов напряжений, параметры временных перенапряжений, действующее значение тока по трем фазам. На основании измерений напряжений и токов по трем фазам рассчитываются значения полной мощности, активной мощности, коэффициент мощности и ряда других параметров.

В настоящее время существуют различные средства для измерения показателей качества электроэнергии. Информационно – Измерительный Комплекс Систем Электроснабжения (ИИКСЭ) ООО “МАГИСТР-ПЭМ” полностью удовлетворяет и по отдельным параметрам существенно превышает требования к измерениям ПКЭ в соответствии с ГОСТ 13109-97. Измерительной основой системы мониторинга качества являются анализаторы качества электроэнергии МАГИСТР ДМ-306М (сертифицированный). Анализатор качества измеряет основные параметры электроэнергии в узловых точках распределения электрической энергии: установившееся значения напряжения и отклонения, длительность провалов напряжений, параметры временных перенапряжений, действующее значение тока по трем фазам [2].

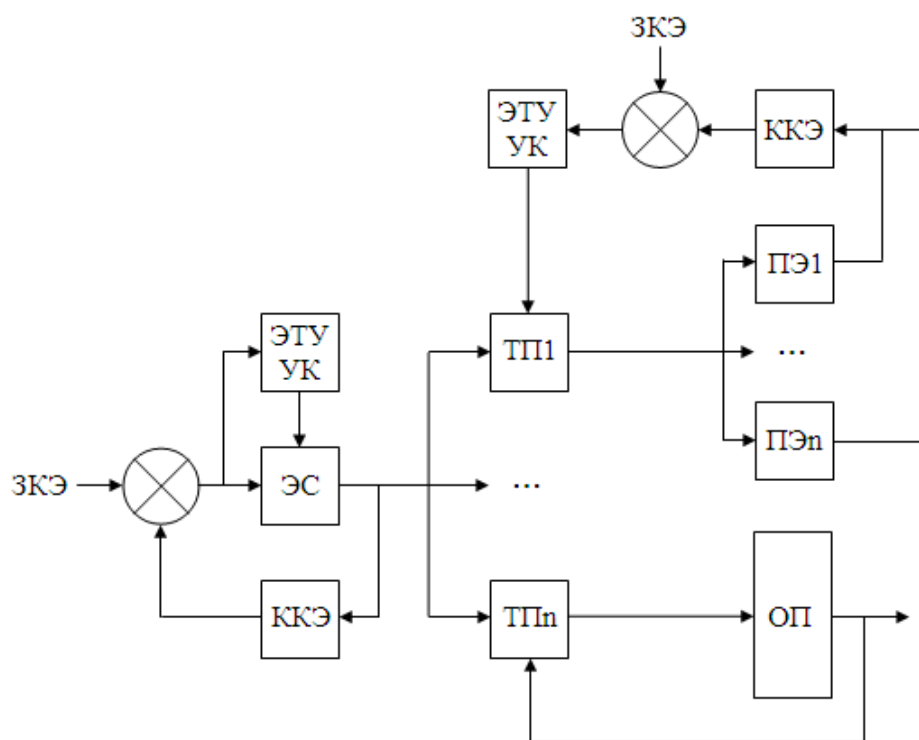
Согласно ГОСТ 13109-97 система электроснабжения может работать с отклонением напряжения, превышающим 5 % не более 72 мин. в сутки. Отклонение напряжения от номинального значения выше допустимых величин уменьшает срок службы светотехнического оборудования в 3 раза и снижает на 20-25 % надежность работы электрических установок, а на каждый процент повышенного напряжения потребление реактивной мощ-

ности возрастает на 3 %. Нессимметрия токов приводит к нессиметрии в напряжениях, вызывает вредные механические колебания в работе электродвигателей и уменьшает ресурс работы электрооборудования до 30 %. При коэффициенте нессиметрии напряжения 4 % сокращает его срок службы в 2 раза [4].

Для обеспечения требуемых показателей электрической энергии необходимо контролировать нессиметричность нагрузки, перекося фаз с последующей их ликвидацией.

Разрабатываемый электротехнический комплекс контроля и управления качеством электрической энергии позволит контролировать перераспределение электрической энергии, формирование нагрузок, обеспечить сокращение потерь электрической энергии.

Структура контроля и управления качеством электрической энергии включает следующие электротехнические устройства: трансформаторную подстанцию, электропитающую сеть, объект потребления электрической энергии (рис. 1).



**Рис. 1. Структура контроля и управления качеством электрической энергии: ЗКЭ – заданное значение качества электроэнергии; ЭС – электропитающая сеть; ЭТУ УК – электротехнические устройства управления качеством электроэнергии; ККЭ – контроль качества электрической энергии; ТП – трансформаторная подстанция; ПЭ – потребитель электрической энергии; ОП – объект потребления электрической энергии**

Данная система позволяет представить структуру потребления электроэнергии, регулировать нагрузки, снизить потери электрической энергии за счет уменьшения провалов напряжения, реактивной составляющей мощности, эффективно использовать и распределить электроэнергию.

### Список литературы

1. Адамоков Р.К. Методический подход к оценке эффективности экспортных проектов в электроэнергетике / Р.К. Адамоков. М.: Изд-во ГУУ, 2002.
2. Быстрицкий Г.Ф. Энергосиловое оборудование промышленных предприятий. Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. М.: Издательский центр "Академия", 2003. 304 с.
3. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие. М.: Высш. шк., 2001. 479 с.
4. Иванов В.С., Соколов В. И. Режимы потребления и качество электроэнергии систем электроснабжения промышленных предприятий. М.: Энергоатомиздат, 1987. 336 с.
5. Нагорная, В.Н. Экономика энергетики: учеб. пособие / В.Н. Нагорная; Дальневосточный государственный технический университет. Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2007. 157 с.

*Степанов Владимир Михайлович, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой, [energy@tsu.tula.ru](mailto:energy@tsu.tula.ru), Россия, Тула, Тульский государственный университет,*

*Косырихин Виктор Семенович, канд. техн. наук, доц., [energy@tsu.tula.ru](mailto:energy@tsu.tula.ru), Россия, Тула, Тульский государственный университет,*

*Базыль Илья Михайлович, асп., [energy@tsu.tula.ru](mailto:energy@tsu.tula.ru), Россия, Тула, Тульский государственный университет,*

*Каратеев Павел Юрьевич, асп., [karat.tulgu@ya.ru](mailto:karat.tulgu@ya.ru), Россия, Тула, Тульский государственный университет*

### ENTERPRIZE POWER SUPPLY SYSTEM ENERGY EFFICIENT CONTROL AND REGULATION

V.M. Stepanov, V.S. Kosyrihin, I.M. Bazyl, P.Y. Karateev

*The structure which is functionally connecting electrotechnical devices, providing effective use, distribution and decrease in losses of the electric power in power supply systems is considered.*

*Key words: uelectrical energy quality, electrical energy efficient usage.*

*Stepanov Vladimir Mikhaylovich, doctor of technical science, professor, manager of department, [energy@tsu.tula.ru](mailto:energy@tsu.tula.ru), Russia, Tula, Tula State University,*

*Kosyrihin Victor Semenovich, candidate of technical science, docent, [energy@tsu.tula.ru](mailto:energy@tsu.tula.ru), Russia, Tula, Tula State University,*

*Bazyl Ilya Mikhailovich, postgraduate, [energy@tsu.tula.ru](mailto:energy@tsu.tula.ru), Russia, Tula, Tula State University*

УДК 628.932

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ДО 10 КВ

А.С. Устинов

*Одной из ключевых отраслей нашей страны всегда была энергетика. За последние несколько лет значительно увеличились инвестиции в эту отрасль. Вводятся в строй новые и реконструируются существующие объекты, на энергетическом рынке появляются новые российские и иностранные компании, которые занимаются проектированием и наладкой этих объектов.*

*Ключевые слова: реконструкция, Строительным нормам и правилам (СНиП), ПУЭ.*

В России находится в эксплуатации примерно 1 млн. км воздушных электрических линий (ВЛ) напряжением 0,4 кВ. Технические характеристики и состояние этих ВЛ не в полной мере отвечают современным требованиям потребителей.

Линии 0,4 кВ построены, в основном, с использованием голых алюминиевых проводов малых сечений, которые не выдерживают гололедных и ветровых нагрузок. Примерно 1/3 ВЛ работает больше нормативного срока и требует реконструкции в соответствии с действующими нормами.

Для устойчивого электроснабжения потребителей требуется восстановить или реконструировать более 450 000 км ВЛ 0,4кВ.

Линии электропередач подразделяются на 2 типа воздушные и кабельные. Базовое проектирование линий электропередач является первичной фазой проекта будущей ЛЭП. Основные этапы процесса проектирования ЛЭП включают в себя:

- разработку концепции;
- моделирование;
- технологическую подготовку;
- конструирование.

От того, насколько качественно и грамотно проектирование ЛЭП было осуществлено, зависит длительность эксплуатации и качество работы линий электропередач.

При проектировании электрических сетей рассматриваются следующие виды работ: новое строительство, расширение и реконструкция.

Новое строительство включает сооружение новых линий электро-

передачи и подстанций.

Расширение электросетей, как правило, относится только к подстанциям - это установка второго трансформатора на действующей подстанции с проведением необходимых строительных работ.

Реконструкция действующих сетей подразумевает изменение параметров электросетей, при сохранении частично или полностью строительной части объектов, для повышения пропускной способности сетей, надежности электроснабжения и качества передаваемой электроэнергии. К реконструкции относятся работы по замене проводов воздушных линий, перевод сетей на другое номинальное напряжение, замена трансформаторов, выключателей и др. аппаратуры в связи с изменением мощности или напряжения, установка средств автоматизации в сетях.

Система электроснабжения сельскохозяйственных потребителей проектируется с учетом развития в рассматриваемом районе всех отраслей народного хозяйства, в том числе и несельскохозяйственных.

Проектирование и строительство ЛЭП проводится согласно «Строительным нормам и правилам» (СНиП) и «Правилам устройства электроустановок» (ПУЭ).

Все основные этапы и стадии проектирования будущих линий электропередач осуществляются на основании конкретного технического задания (ТЗ).

Задание выдает заказчик проекта и утверждается по объектам электросетевого строительства в установленном порядке.

Заказчик проекта, кроме задания на проектирование, выдает проектной организации утвержденный акт о выборе площадки для строительства; акт оценки технического состояния действующих электрических сетей; технические условия на присоединение к инженерным сетям и коммуникациям; картографические материалы; сведения о существующей застройке, подземных коммуникациях, состоянии экологии и т.д.; технические условия на присоединение проектируемого объекта к источникам электроснабжения.

К заданию на проектирование ВЛ 10 кВ дополнительно прилагаются: планы землепользования в зоне трассы линии электропередачи[1,2]; генеральные планы проектируемых объектов, которые будут присоединены к проектируемым линиям и их нагрузки; акт оценки технического состояния и схемы действующих электрических сетей в зоне проектируемой линии; топографические карты населенных пунктов в зоне прохождения проектируемой линии, а также другие данные для проектирования.

В задании на проектирование линий 0,38 кВ и трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ включают: основание для проектирования; район строительства; вид строительства; длина линий 0,38 кВ; тип трансформаторных подстанций; стадийность проектирования; срок выполнения проекта; срок начала строительства; наименование проектной и строительной

организаций; капитальные вложения. Кроме этого, к заданию на проектирование сетей 0,38 кВ прилагают: технические условия энергосистемы на присоединение к электрическим сетям; акт оценки технического состояния сетей 0,38 кВ; данные о достигнутом уровне электропотребления на жилой дом и др. материалы.

Проектирование объектов строительства проводится на основе схем развития электрических сетей 35...110 кВ и 10 кВ, как правило, в одну стадию, т.е. разрабатывают технорабочий проект - технический проект и рабочая документация на сооружение объекта.

Строительство ВЛ на железобетонных опорах выполняется по типовым проектам.

После выполнения проектно-изыскательских и проектных работ техническая документация выдается заказчику в печатном и электронном виде.

Развитость стран характеризуется расходом электроэнергии на душу населения, которая в значительной мере определяется спецификой энергетических ресурсов страны.

### Список литературы

1. Литература фирмы «ЕРМ»; <http://group-epm.ru/proektirovanie/>
2. Литература фирмы «нилед»; <http://www.niled.ru/>
3. <http://electricalschool.info/vl/319-montazh-vozdushnykh-linij.html>
4. Литература фирмы «Ensto»; <http://www.ensto.com/ru/support/brochures>
5. Планы землепользования в зоне трассы линии электропередачи[1,2].
6. Литература фирмы «Ensto»; издание 4, версия 11.2009

*Устинов Александр Сергеевич, бакалавр, Россия, Тула, Тульский государственный университет*

### DESIGNING OF ELECTRICAL NETWORKS UP TO 10 KV

*A.S. Ustinov*

*One of the key industries of our country was energy. Over the last few years a significant increase in investment in this sector. Are put into operation new and reconstructed existing objects on the energy market of new Russian and foreign companies which are engaged in designing and managing these objects.*

*Key words: reconstruction, Building norms and rules (SNIIP), PUE.*

*Ustinov Alexander Sergeevich, bachelor, Russia, Tula, Tula State University*

## СЦЕНАРИИ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ РОССИИ НА ПРИМЕРЕ ОЭС ЦЕНТРА

Н.С. Шабаль

*Приводится статистический материал и анализ по ОЭС Центра. Проанализировано состояние по генерирующим мощностям, спросу, производству, а так же рассмотрены перспективы развития на ближайшие годы.*

*Ключевые слова: генерирующая мощность, стратегия развития, экономика развития.*

Электроэнергетика - базовая отрасль экономики России, обеспечивающая потребности экономики и населения страны в электрической и тепловой энергии, во многом определяющая устойчивое развитие всех отраслей экономики страны. Эффективное использование потенциала электроэнергетической отрасли, установление приоритетов и параметров ее развития создадут необходимые предпосылки для роста экономики и повышения качества жизни населения страны. Процесс опережающего развития электроэнергетической отрасли является необходимым фактором успешного экономического развития России.

Энергетической стратегией России на период до 2020 года определены следующие основные целевые ориентиры долгосрочной политики государства в электроэнергетике:

- надежное снабжение экономики и населения страны электрической и тепловой энергией;
- сохранение целостности и развитие Единой энергетической системы России, ее интеграция с другими энергообъединениями на Евразийском континенте;
- повышение эффективности функционирования и обеспечение устойчивого развития электроэнергетики на базе современных технологий;
- снижение вредного воздействия на окружающую среду.

**Сценарии развития электроэнергетики России.** По поручению Минэнерго России, в 2010 г., с корректировкой в 2012 ЗАО «Агентство по прогнозированию балансов в электроэнергетике» были разработаны Сценарные условия развития электроэнергетики Российской Федерации на период до 2030 года (далее – Сценарные условия).

Сценарные условия отражают основные целевые направления, приоритеты и параметры развития электроэнергетики на период до 2030 года с указанием реперных точек 2015, 2020, 2025 годов. В качестве отчетного года принят 2010 год. В Сценарных условиях актуализированы параметры развития электроэнергетики на период до 2030 года, включая прогноз мак-

роэкономических показателей, цен на топливо, тарифов (цен) на электрическую и тепловую энергию, спроса на электроэнергию, а также прогноз развития объектов электроэнергетики – электрических станций и электросетевых объектов.

Сценарные условия разработаны в целях формирования комплексного прогноза развития электроэнергетики Российской Федерации в период до 2020 года с оценкой перспективы до 2030 года, для осуществления мониторинга реализации Генеральной схемы, предусмотренного постановлением Правительства Российской Федерации от 17.10.2009 № 823.

В сценарных условиях были описаны три сценария развития:

– **Максимальный сценарий**, который тесно связан с Концепцией долгосрочного развития и исходит из того, что для России существует потенциальная возможность значительного увеличения экономического роста с достижением после 2015 года динамики, указанной в инновационном варианте Концепции долгосрочного развития. При этом среднегодовые темпы прироста ВВП в период с 2011 по 2030 годы составят около 5,3 %.

– **Инновационный сценарий**, который представляет собой последнюю на сегодняшний день интерпретацию инновационного сценария Минэкономразвития России, сформированную с учетом результатов постепенного выхода страны и мирового рынка из кризиса в конце 2011—начале 2012 года. Сценарий описывает переход от стабилизации и поступательного движения экономики России к достаточно интенсивному ее росту с обязательной реализацией инновационной компоненты. Наряду с модернизацией энергосырьевого комплекса он опирается на создание современной транспортной инфраструктуры и конкурентоспособного сектора высокотехнологичных производств и экономики знаний.

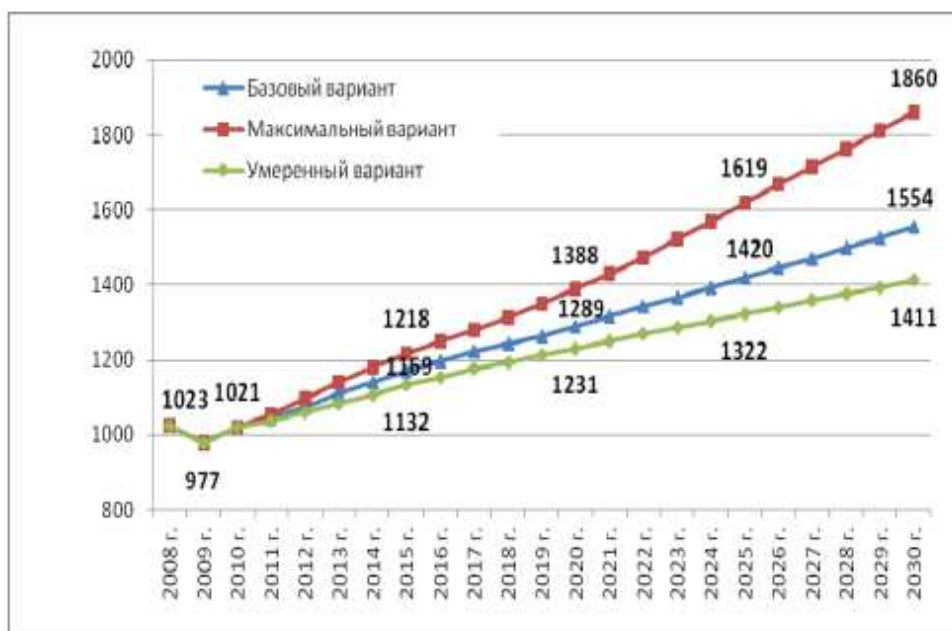
– **Консервативный или энерго-сырьевой сценарий** – рассматривается в качестве риск-анализа. Дополнительная причина рассмотрения подобного сценария – анализ последних тенденций в развитии мировой и тесно связанной с ней российской экономике, который позволяет говорить о незавершенности выхода их из кризиса, а также пессимистические ожидания большого числа известных экономистов по поводу развития мировой и российской экономики в ближайшие годы, вплоть до ожидания новой рецессии. Незавершенность выхода на докризисные параметры экономики России проявляется как в количественном (докризисные объёмы ВВП, инвестиций в основной капитал, выпуск в ряде ключевых электростроительных отраслей и т.д.), так и, и это главное, в качественном отношении. Четкая «модель роста» для страны пока не только не оформлена в плане соотношения основных её факторов, мотиваций субъектов экономических отношений, стоимости ресурсов развития, но по-настоящему и не найдена.

**Прогноз потребности в электроэнергии в России.** В 2010 году объем электропотребления в России в целом составил 1020,6 млрд кВт.ч против 977,1 млрд кВт.ч в 2009 году. Рост на 4,5 % был связан в первую

очередь с восстановлением промышленного производства в базовых электротехнических отраслях и ростом электропотребления в бытовом секторе и сфере услуг, который не прекращался и в кризис. Большое влияние также оказал погодный фактор: зимний период начала 2010 года на большей части территории страны был аномально холодным, еще более аномальными были летние температуры в Европейской части страны. Это привело к повышенному расходу электроэнергии на цели тепло- и хладоснабжения.

В 2011 году ожидался рост электропотребления, связанный с продолжением выхода экономики страны из кризиса. Однако темпы прироста были невелики из-за торможения процесса восстановления экономики, начавшегося еще со второй половины 2010 года. Причиной ожидаемого невысокого темпа прироста является также высокая база электропотребления 2010 года, связанная, в том числе, и с погодным фактором.

На рисунке 1 представлены варианты прогноза электропотребления по стране в целом, сформированные на основе представленных выше сценариев социально-экономического развития Российской Федерации, по опорным годам – 2015, 2020, 2025 и 2030 годы



**Рис. 1. Прогноз электропотребления Российской Федерации в трех вариантах, млрд кВт·ч**

Прирост электропотребления будет обеспечен в основном за счет развития регионов с традиционно высокими объемами спроса на электроэнергию, что соответствует их значимой роли в существующей и перспективной экономике страны. К таким регионам относятся:

– в ОЭС Центра – г. Москва и Московская область, Вологодская область и Белгородская область;

- в ОЭС Северо-Запада – Ленинградская область и г. Санкт-Петербург, Мурманская область;
- в ОЭС Юга – Ростовская область и Волгоградская область, Краснодарский край;
- в ОЭС Средней Волги – Республика Татарстан и Нижегородская область;
- в ОЭС Урала – Тюменская область, Свердловская область и Челябинская область;
- в ОЭС Сибири – Иркутская область, Кемеровская область и Красноярский край;
- в ОЭС Востока – Приморский край.

**Развитие оэс центра.** Объединенная энергетическая система Центра (далее – ОЭС Центра) является наиболее крупной (по сосредоточенному в ней производственному потенциалу) объединенной энергосистемой в ЕЭС России.

Отличительными особенностями ОЭС Центра являются:

- ее расположение на стыке нескольких ОЭС (СевероЗапада, Средней Волги, Урала и Юга), а также энергосистем Украины и Белоруссии;
- самая высокая в ЕЭС удельная доля атомных электростанций в структуре генерирующей мощности;
- большое количество крупных узлов электропотребления, связанных с предприятиями черной металлургии, а также крупных промышленных городских центров (Вологодско-Череповецкий, Белгородский, Липецкий, Нижегородский);
- наличие крупнейшей в России Московской энергосистемы, которая предъявляет повышенные требования к обеспечению надежности режимов энергоснабжения и отличается в настоящее время высокими темпами и большой величиной прироста электропотребления;
- необходимость широкого привлечения энергоблоков тепловых электростанций к процессу регулирования частоты и перетоков мощности для повышения гибкости управления режимами и надежности ОЭС.

ОЭС Центра располагается на территории Центрального и Северо-Западного Федеральных округов и 19 субъектов Российской Федерации: г. Москвы; Белгородской, Владимирской, Вологодской, Воронежской, Ивановской, Костромской, Курской, Орловской, Липецкой, Рязанской, Брянской, Калужской, Смоленской, Тамбовской, Тверской, Тульской, Ярославской и Московской области.

В ее состав входят 18 региональных энергетических систем: Белгородская, Владимирская, Вологодская, Воронежская, Ивановская, Костромская, Курская, Орловская, Липецкая, Московская, Рязанская, Брянская, Калужская, Смоленская, Тамбовская, Тверская, Тульская и Ярославская. При этом Московская энергосистема объединяет г. Москву и Московскую об-

ласть. Генерирующие мощности электростанций объединения составляют около 25% от суммарной генерирующей мощности ЕЭС России.

Электроэнергетический комплекс образуют 142 электростанции мощностью 5 МВт и выше, имеющие суммарную установленную мощность 51,290 тыс. МВт (по данным на 01.01.2013), крупнейшие из них: Черепетская ГРЭС, Рязанская ГРЭС, все АЭС находящиеся в ОЭС Центра (Курская Нововоронежская, Смоленская, Калининская), Костромская ГРЭС, Шатурская ГРЭС, Конаковская ГРЭС, Каширская ГРЭС, Череповецкая ГРЭС и ТЭЦ г. Москвы. 2223 электрических подстанции 110-750 кВ и 2639 линий электропередачи 10-750 кВ, общей протяженностью 86 483 км.

Объем электропотребления в ОЭС Центра в 2012 году составил 229,4 млрд кВт. ч (прирост за год 2,6%), что превысило показатель потребления 1990года. Хотя только в 2010 году потребление ОЭС Центра еще не дотягивало до уровня 90 г. В основном это произошло за счет увеличения потребления Московской, Белгородской, Калужской областей.

Рост спроса на электрическую энергию в ОЭС Центра ожидается к 2019 году более чем на 15% относительно 2012 года и составит 264,1 млрд кВт. ч. Прогнозные показатели потребления электрической энергии ОЭС Центра характеризуются относительно высокими темпами прироста (среднегодовой темп за период 2,0%).

Крупнейшей энергосистемой ОЭС Центра остается ЭС г. Москвы и Московской области. На ее долю приходится около половины (44%) электропотребления ОЭС Центра. Особенностью структуры электропотребления региона является снижение электропотребления в промышленности при существенном увеличении доли быта и сферы услуг. Более 40% общего объема электропотребления формирует непроизводственная сфера, в первую очередь, за счет развития столичных функций г. Москвы.

Прогнозируемый относительно высокий прирост спроса на электрическую энергию в ЭС г. Москвы и Московской области (17,0 млрд кВт. ч к 2019 году) в значительной мере будет связан с реализацией начатых инвестиционных проектов, строительством жилья и объектов инфраструктуры, развитием транспортной системы столичного региона.

В промышленном производстве продолжится реализация и внедрение инновационных направлений в научно-промышленный комплекс:

- развитие инновационного центра "Сколково";
- особой экономической зоны технико-внедренческого типа "Дубна" и "Зеленоград";
- центра по разработке инновационных препаратов в г. Химки и г. Долгопрудном;
- инновационного кластера биофармацевтической и биомедицинской направленности в г. Пущино;
- создание портовой особой экономической зоны и центра авиа-

строения в г. Жуковском.

Дополнительный прирост потребности в электрической энергии ожидается за счет развития присоединенных к г. Москве территорий, где планируется масштабное жилищное строительство, развитие объектов социальной и транспортной инфраструктуры.

Наибольший темп прироста спроса на электрическую энергию в ОЭС Центра за рассматриваемый прогнозный период будет наблюдаться в ЭС Калужской области. К 2019 году электропотребление здесь вырастет более чем на 50% при среднегодовом приросте за 2013-2019 годы - 6,3%, что приведет к увеличению ее доли в потреблении ОЭС Центра с 2,4% в 2012 году до 3,1% в 2019 году.

Ожидается дальнейшее развитие производства в индустриальных парках, ориентированных на выпуск автомобилей и автокомпонентов, расположенных вблизи г. Калуги: "Калуга Юг", "Росва", "Грабцево", "А-Парк", а в промышленной зоне "Детчино" в Малоярословецком районе. В металлургическом производстве планируется ввод ОАО "Калужского электрометаллургического завода". Развитие ядерной медицины, биотехнологий и фармацевтики будет сосредоточено в технологическом парке "Обнинск" в г. Обнинске.

Потребление Тульской области так же растет в 2012, но не такими темпами как бурно-развивающиеся соседи: Москва и Калуга, с 9,9 млрд.кВт.ч в 2012г. До 10,947 млрд.кВт.ч при среднегодовом приросте за 2013-2019 годы на 2,0%. В основном за счет непроемленной сферы.

В 2013 году доля ОЭС Центра в общем потреблении мощности ЕЭС России может составить 24,2%, а в 2019 году - 24,5%. В 2013 году собственный максимум потребления мощности региона прогнозируется на уровне 38937 МВт, к 2019 году - 43325 МВт. Среднегодовой прирост максимумов потребления мощности за 2013-2019 годы прогнозируется на уровне 1,5%.

Абсолютная величина резерва мощности в ОЭС Центра на уровне 2013 года должна составить 8458 МВт, на уровне 2019 года - 9436 МВт или в среднем 22,0% от максимума нагрузки при среднегодовом темпе роста в 1,5%.

Сам по себе ОЭС Центра энергоизбыточный район. По показателям 2012 г. из 19 региональных энергосистем ОЭС Центра энергоизбыточными являются 6, а именно: Костромская, Курская, Рязанская, Тверская, Смоленская и Воронежская, т.е. в основном те, где располагаются АЭС – Курская, Смоленская, Калининская, Нововоронежская. Среди наиболее дефицитных были Белгородская, Калужская, Брянская, которые обеспечивают энергобаланс получением электроэнергии в размере 97-93 % от потребности. От 30 до 70 % потребности удовлетворяются за счет получения Владимирская (67 %), Липецкая (60 %), Тамбовская (62 %), Ивановская (56 %), Орловская (50 %), Вологодская (52 %), Ярославская (44 %) и Тульская (50

%) энергосистемы. Близка к самобалансированию Московская (получение 10 %) энергосистема. По прогнозам к 2019 году энергобаланс региональных энергосистем принципиально не изменится. Кроме Тульской области, которая с дефицита в 50% станет близка к самобалансированию.

Определяемая этими условиями и формируемая базовым сценарием развития потребность в электроэнергии по ОЭС Центра за период 2012-2019 гг. увеличится на 13,3% (в среднегодовом исчислении 2.03 % в год) и может достигнуть в 2019 г. 264,1 млрд.кВт.ч.

В ОЭС Центра произойдет прирост выработки на ТЭС который связан с ростом потребности региона в электрической энергии и необходимостью компенсации вывода из эксплуатации ряда блоков АЭС. При этом доля ТЭС увеличится с 61,1% в отчетном 2012 году до 66,4% в 2019 году. Снижение доли АЭС оценивается 5,5% (с 37,5% в отчетном 2012 году до 32,0% в 2019 году)

В Тульской энергосистеме остро стоит проблема физического и морального старения основного оборудования действующих электростанций и электрических сетей.

В настоящее время парковый ресурс выработан в объеме 1392 МВт, или 57 процентов от общей установленной мощности электростанций Тульской энергосистемы.

На основании этого и учитывая то, что большинство станций (в т.ч. крупных) уже выработали свой ресурс, а на некоторых уже и перерабатывает, планируется наиболее значительный объем вводов генерирующих мощностей с высокой вероятностью реализации до 2019 года в ОЭС Центра (7737,6 МВт).

В рассматриваемый перспективный период до 2019 года предусматривается ввод в эксплуатацию новых крупных энергоблоков (единичной мощностью 200 МВт и выше) с использованием парогазовых технологий с высокой вероятностью ввода:

- Нововоронежской АЭС-2 с вводом двух энергоблоков типа ВВЭР-1200 мощностью 1198,8 МВт в 2014 и 2015 годах;

- ПГУ-230 на Владимирской ТЭЦ-2;

- ПГУ-420 на Череповецкой ГРЭС,

- ПГУ-223 на Воронежской ТЭЦ-1,

- ПГУ-450 на Хуадянь-Тенинской ТЭС;

- а также на электростанциях ОАО "Мосэнерго": ТЭЦ-12 (ПГУ-220(Т)), ТЭЦ-16 (ПГУ-420(Т)), ТЭЦ-20 (ПГУ-420(Т));

Также в период 2013-2019 годов планируется ввод крупных (единичной мощностью 200 МВт и выше) энергоблоков на угле: на Черепетской ГРЭС (2хК-213,8-130).

Развитие электросетевого комплекса в ОЭС Центра представлено следующими проектами: вторая ВЛ 500 кВ Грибово - Дорохово, ВЛ 500 кВ

Дорохово - Панино с сооружением ПП 500 кВ Панино - для выдачи мощности Калининской АЭС; ВЛ 500 кВНововоронежская АЭС-2 - Елецкая (Борино), вторая ВЛ 500 кВНововоронежской АЭС-2 - Старый Оскол - для выдачи мощности Нововоронежской АЭС-2; две ВЛ 500 кВЗагорская ГАЭС-2 - Ярцево с ПС 500 кВ Ярцево, вторая ВЛ 500 кВЗагорская ГАЭС-2 - Трубино - для выдачи мощности Загорской ГАЭС-2; комплексное техническое перевооружение и реконструкция ПС 500 кВ: Чагино, Ногинск, Пахра, Трубино; ПС 500 кВ Каскадная с заходами ВЛ 500 кВЧагино - Ногинск, переключательный пункт (ПП) 500 кВ Ожерелье с заходами ВЛ 500 кВЧагино - Михайловская и участком ВЛ 750 кВ отв. Кашира - ПП Ожерелье, ОРУ 220 кВ на ПС 750 кВ Белый Раст с установкой АТ 500/220 кВ, ПС 500 кВБутырки с кабельной линией (КЛ) 500 кВ Бескудниково - Бутырки - для повышения надёжности электроснабжения потребителей Москвы и Московской области; ПС 500 кВ Софьино с заходами ВЛ 500 кВ Дорохово - Панино - для обеспечения возможности подключения потребителей новой территории г. Москвы; ПС 500 кВОбнинская с заходами ВЛ 500 кВ Смоленская АЭС - Калужская и ВЛ 500 кВ Дорохово - Обнинская - для повышения надежности электроснабжения существующих и обеспечения возможности присоединения новых потребителей в северной части Калужской области; ПС 500 кВБелобережская с заходами ВЛ 500 кВНовобрянская - Елецкая - для повышения надежности электроснабжения потребителей Брянской области; установка третьего АТ 500/110 кВ на ПС 500 кВ Старый Оскол - для электроснабжения Стойленского ГОК;

### Прогноз электропотребления в ОЭС Центра

|                             | Отчёт   | Оценка  | Прогноз - Базовый вариант |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |  |  | млрд кВт.ч |
|-----------------------------|---------|---------|---------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--|--|------------|
|                             | 2010 г. | 2011 г. | 2012 г.                   | 2013 г. | 2014 г. | 2015 г. | 2016 г. | 2017 г. | 2018 г. | 2019 г. | 2020 г. | 2025 г. | 2030 г. |  |  |            |
| ОЭС Центра                  | 221.847 | 225.963 | 236.115                   | 245.782 | 252.772 | 259.496 | 266.731 | 273.389 | 277.060 | 280.416 | 284.238 | 318.082 | 353.207 |  |  |            |
| годовой темп прироста, %    | 4.79    | 1.86    | 4.49                      | 4.09    | 2.84    | 2.66    | 2.79    | 2.50    | 1.34    | 1.21    | 1.36    | 2.28    | 2.12    |  |  |            |
| Белгородская область        | 14.144  | 14.740  | 14.815                    | 15.482  | 15.970  | 16.350  | 16.615  | 16.925  | 16.981  | 17.054  | 17.144  | 18.427  | 20.38   |  |  |            |
| годовой темп прироста, %    | 8.41    | 4.21    | 0.51                      | 4.50    | 3.13    | 2.38    | 1.62    | 1.87    | 0.33    | 0.43    | 0.53    | 14.5    | 2.04    |  |  |            |
| Брянская область            | 4.290   | 4.343   | 4.457                     | 4.513   | 4.565   | 4.618   | 4.671   | 4.725   | 4.750   | 4.820   | 4.871   | 5.276   | 5.676   |  |  |            |
| годовой темп прироста, %    | 5.04    | 1.24    | 2.62                      | 1.26    | 1.15    | 1.13    | 1.16    | 0.53    | 1.47    | 1.06    | 1.61    | 14.7    | 14.7    |  |  |            |
| Владимирская область        | 6.947   | 7.049   | 7.900                     | 8.108   | 8.255   | 8.372   | 8.498   | 8.626   | 8.639   | 8.648   | 8.663   | 8.758   | 9.074   |  |  |            |
| годовой темп прироста, %    | 4.01    | 1.47    | 12.07                     | 2.63    | 1.81    | 1.42    | 1.51    | 1.51    | 0.15    | 0.10    | 0.17    | 0.22    | 0.71    |  |  |            |
| Вологодская область         | 13.606  | 14.007  | 13.973                    | 14.222  | 14.458  | 14.872  | 15.886  | 16.908  | 16.935  | 16.982  | 17.008  | 18.054  | 20.47   |  |  |            |
| годовой темп прироста, %    | 5.77    | 2.95    | -0.24                     | 1.78    | 1.66    | 2.86    | 6.82    | 6.43    | 0.16    | 0.28    | 0.15    | 1.20    | 2.49    |  |  |            |
| Воронежская область         | 9.651   | 9.758   | 10.393                    | 11.078  | 11.308  | 11.902  | 12.392  | 12.684  | 12.697  | 12.707  | 12.726  | 13.037  | 14.20   |  |  |            |
| годовой темп прироста, %    | 5.80    | 1.11    | 6.51                      | 6.59    | 2.08    | 5.25    | 4.12    | 2.36    | 0.10    | 0.08    | 0.15    | 0.48    | 1.78    |  |  |            |
| Ивановская область          | 3.812   | 3.748   | 4.087                     | 4.160   | 4.219   | 4.268   | 4.320   | 4.373   | 4.420   | 4.470   | 4.542   | 4.896   | 5.28    |  |  |            |
| годовой темп прироста, %    | 2.80    | -1.68   | 9.04                      | 1.79    | 1.42    | 1.16    | 1.22    | 1.23    | 1.07    | 1.13    | 1.61    | 1.51    | 1.40    |  |  |            |
| Калужская область           | 5.041   | 5.111   | 5.845                     | 6.857   | 7.781   | 8.412   | 8.947   | 9.249   | 9.343   | 9.378   | 9.412   | 9.987   | 10.541  |  |  |            |
| годовой темп прироста, %    | 5.31    | 1.39    | 14.36                     | 17.31   | 13.48   | 8.11    | 6.36    | 3.38    | 1.02    | 0.37    | 0.36    | 1.19    | 1.09    |  |  |            |
| Костромская область         | 3.682   | 3.757   | 3.793                     | 3.863   | 3.913   | 3.955   | 4.087   | 4.170   | 4.220   | 4.267   | 4.293   | 5.493   | 6.353   |  |  |            |
| годовой темп прироста, %    | 3.46    | 2.04    | 0.96                      | 1.85    | 1.29    | 1.07    | 3.34    | 2.03    | 1.20    | 1.11    | 0.61    | 5.05    | 2.95    |  |  |            |
| Курская область             | 7.996   | 8.170   | 8.505                     | 8.588   | 8.673   | 8.760   | 8.900   | 8.992   | 9.395   | 9.790   | 10.211  | 11.248  | 12.18   |  |  |            |
| годовой темп прироста, %    | 3.63    | 2.18    | 4.10                      | 0.98    | 0.99    | 1.00    | 1.60    | 1.03    | 4.48    | 4.20    | 4.30    | 1.95    | 1.50    |  |  |            |
| Орловская область           | 2.694   | 2.716   | 2.765                     | 2.791   | 2.819   | 2.847   | 2.876   | 2.905   | 3.030   | 3.180   | 3.364   | 3.739   | 4.108   |  |  |            |
| годовой темп прироста, %    | 2.47    | 0.82    | 1.80                      | 0.94    | 1.00    | 0.99    | 1.02    | 1.01    | 4.30    | 4.93    | 5.79    | 2.14    | 1.90    |  |  |            |
| Рязанская область           | 6.368   | 6.370   | 6.856                     | 7.008   | 7.193   | 7.282   | 7.363   | 7.447   | 7.487   | 7.514   | 7.529   | 7.990   | 8.726   |  |  |            |
| годовой темп прироста, %    | 5.03    | 0.03    | 7.63                      | 2.22    | 2.64    | 1.24    | 1.11    | 1.14    | 0.54    | 0.36    | 0.20    | 1.20    | 1.78    |  |  |            |
| Смоленская область          | 6.288   | 6.128   | 6.444                     | 6.711   | 6.781   | 6.853   | 6.928   | 7.006   | 7.080   | 7.110   | 7.165   | 7.732   | 8.654   |  |  |            |
| годовой темп прироста, %    | 2.38    | -2.54   | 8.42                      | 1.01    | 1.04    | 1.06    | 1.09    | 1.13    | 1.06    | 0.42    | 0.77    | 1.53    | 2.28    |  |  |            |
| Тамбовская область          | 3.381   | 3.472   | 3.539                     | 3.630   | 3.696   | 3.782   | 3.827   | 3.872   | 3.970   | 4.040   | 4.099   | 4.570   | 5.024   |  |  |            |
| годовой темп прироста, %    | 6.66    | 2.69    | 1.93                      | 2.57    | 1.82    | 2.33    | 1.19    | 1.18    | 2.53    | 1.76    | 1.46    | 2.20    | 1.93    |  |  |            |
| Тверская область            | 7.676   | 7.788   | 8.233                     | 8.574   | 8.745   | 8.882   | 9.024   | 9.169   | 9.329   | 9.476   | 9.615   | 10.993  | 14.345  |  |  |            |
| годовой темп прироста, %    | 3.98    | 1.46    | 5.71                      | 4.14    | 1.99    | 1.57    | 1.60    | 1.61    | 1.75    | 1.58    | 1.47    | 2.71    | 2.71    |  |  |            |
| Тульская область            | 10.008  | 10.018  | 10.549                    | 10.780  | 10.998  | 11.228  | 11.418  | 11.609  | 11.708  | 11.798  | 11.924  | 13.828  | 15.260  |  |  |            |
| годовой темп прироста, %    | 5.43    | 0.10    | 5.30                      | 2.19    | 2.02    | 2.09    | 1.69    | 1.67    | 0.85    | 0.77    | 1.07    | 3.01    | 1.99    |  |  |            |
| Ярославская область         | 8.133   | 8.278   | 8.597                     | 8.776   | 9.184   | 9.382   | 9.588   | 9.802   | 9.848   | 9.879   | 9.886   | 10.556  | 11.096  |  |  |            |
| годовой темп прироста, %    | 4.66    | 1.78    | 3.85                      | 2.08    | 4.65    | 2.16    | 2.20    | 2.23    | 0.47    | 0.31    | 0.07    | 1.32    | 1.00    |  |  |            |
| г. Москва и Московская обл. | 97.730  | 99.611  | 103.091                   | 108.258 | 111.516 | 114.686 | 118.024 | 121.280 | 123.500 | 125.500 | 127.909 | 148.685 | 166.856 |  |  |            |
| годовой темп прироста, %    | 3.97    | 1.92    | 3.49                      | 5.01    | 3.01    | 2.84    | 2.91    | 2.76    | 1.83    | 1.62    | 1.92    | 3.06    | 2.21    |  |  |            |

### Выводы:

прогнозируемый рост электропотребления в ОЭС Центра до 2020

года обуславливает необходимость ввода новых генерирующих мощностей, в том числе на угольных ТЭС;

уголь в связи с намеченной Правительством России либерализацией цен на газ становится более конкурентоспособным и его доля в структуре топливообеспечения ТЭС в ОЭС Центра увеличивается к 2020 году до 19%, что свидетельствует также о повышении устойчивости и надежности топливообеспечения.

Важнейшая роль в реализации этих масштабных задач отводится отечественным предприятиям энергомашиностроения, электроаппаратостроения и приборостроения, которые в сжатые сроки должны обновить и расширить собственную производственно-технологическую базу, а также обеспечить необходимый кадровый потенциал. Для ускорения ликвидации существующего технологического отставания должны быть использованы возможности международного сотрудничества: от приобретения лицензий и организации производства нового оборудования на территории России до полномасштабного участия российских организаций в наиболее важных международных и национальных проектах других стран.

### **Список литературы**

1. Сценарные условия развития электроэнергетики на период до 2030 года. //Министерство энергетики Российской Федерации //Агентство по прогнозированию балансов в электроэнергетике.

2. Приказ Министерства энергетики РФ от 15 июля 2010 г. N 333 "Об утверждении схемы и программы развития Единой энергетической системы России на 2010-2016 годы".

3. Системный оператор единой энергетической системы // Объединенная энергосистема Центр URL:[http://so-ups.ru/index.php?id=oes\\_center](http://so-ups.ru/index.php?id=oes_center)

*Шабаль Николай Сергеевич, студент, [shabalns92.suv@gmail.com](mailto:shabalns92.suv@gmail.com), Россия, Тула, Тульский государственный университет*

*DEVELOPMENT SCENARIOS FOR EXAMPLE RUSSIA POWER ECO CENTER*

*N.S. Shabal*

*Provides statistical data and analysis on the ECO Center. The condition for generating capacity, demand, production. As well as the prospects for the coming years.*

*Key words: the generating power, development strategy, development economy.*

*Shabal Nikolay Sergeevich, student, [shabalns92.suv@gmail.com](mailto:shabalns92.suv@gmail.com), Russia, Tula, Tula State University*

## **УПРАВЛЕНИЕ И НАДЕЖНОСТЬ РАБОТЫ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА**

УДК 629.062

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМЕ "ЭЛЕКТРОГИДРОУСИЛИТЕЛЬНЫЙ АГРЕГАТ – РУЛЕВОЕ УПРАВЛЕНИЕ" АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ**

Е.А. Ядыкин, П.В. Веселов

*Произведено моделирование переходных процессов в системе "электрогидроусилительный агрегат – рулевое управление" автотранспортных средств.*

*Ключевые слова: электрогидроусилительный агрегат, сервопривод, переходный процесс.*

Особенности взаимосвязи элементов электромеханической системы "электрогидроусилительный агрегат (ЭГУА) – рулевое управление" автотранспортных средств определены на основе разработанных новых технических решений по повышению эффективности и надежности ее работы.

Повышение эффективности и надежности функционирования достигается за счет уменьшения времени запаздывания реакции рулевого механизма.

Кинематические связи анализируются с помощью расчетной рис. 1 и структурной рис. 2 схем математической модели.

Уравнения движения ЭГУА рулевого управления представляют его как колебательное звено системы "ЭГУА – рулевое управление", имеющее массу  $m_p$  и перемещающейся под действием момента на рулевом колесе  $M(t)$ , что вызывает изменение входной координаты ГУА  $y_{BX}$  (уравнение сил действующих на систему ЭГУА – рулевое управление):

$$F(t) - m_p \frac{d^2(\Delta y_{BX})}{dt^2} - b_p \frac{d(\Delta y_{BX})}{dt} - C_p \Delta y_B - |K_{BX}| b_3 \frac{d(\Delta x)}{dt} = 0$$

Уравнение рассогласования ГУА

$$\Delta x = K_{BX} \Delta y_{BX} - K_{OC} \Delta y_\delta$$

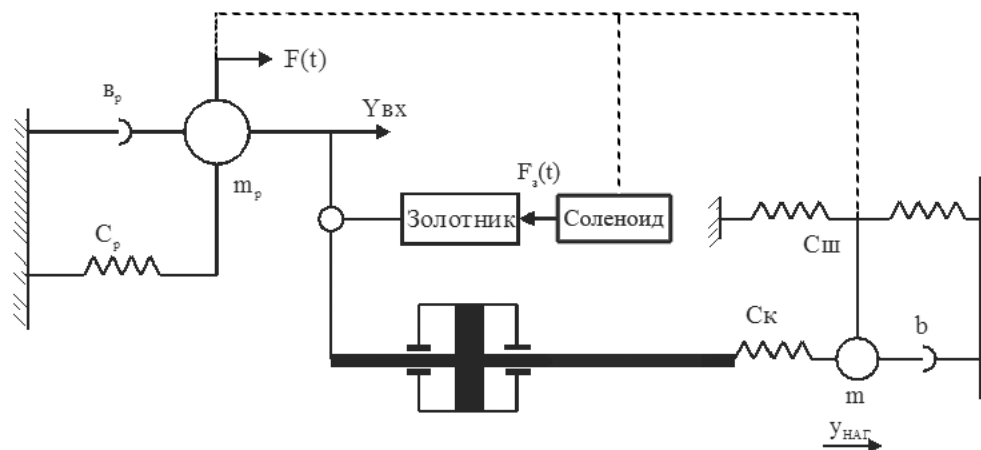
Уравнение расхода дроссельного гидропривода

$$\Delta Q_0 = \Delta Q_{эф} - \Delta Q_{СК},$$

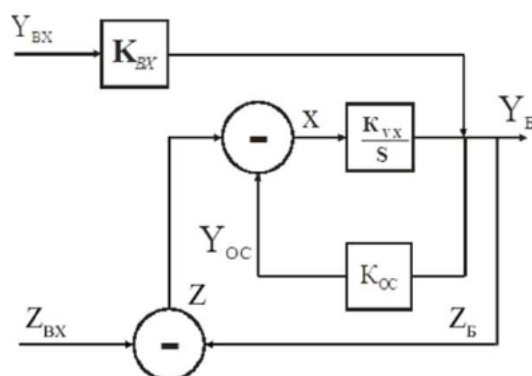
где расход золотника  $\Delta Q_0 = K_3 \Delta x$ .

Эффективный расход дроссельного гидропривода

$$\Delta Q_{\text{ЭФ}} = \frac{V}{2E} \frac{d(\Delta P_d)}{dt} + A_n \frac{d(\Delta y_\delta)}{dt};$$



**Рис. 1.**  $m_p$  – масса подвижной рулевой системы, приведенная ко входу золотника системы, кг;  $v_p$  – коэффициент вязкого трения, Н/с;  $C_p$  – коэффициент жесткости рулевой системы, Н/м;  $C_{ш}$  – коэффициент жесткости рулевых шарниров, Н/м;  $C_k$  – коэффициент жесткости конструкции, Н/м;  $F(t)$  – усилие, приложенное к рулевому колесу, Н;  $F_3(t)$  – усилие приложенное соленоидом к золотнику, Н



**Рис. 2.**  $Y_{\text{ВХ}}$  – координаты перемещения входного звена ЭГУА;  $Y_\delta$  – координата перемещения штока;  $x$  – относительное перемещение золотника;  $K_{\text{ОС}}$  – координаты обратной связи;  $K_{\text{ВХ}}$  – координаты передачи входного сигнала;  $K_{\text{ВХ}} = K_{\text{пер}} K_{\text{оц}}$ ;  $K_{\text{пер}}$  – коэффициент передачи ЭГУА;  $K_{\text{ВХ}} = \left(\frac{\partial v}{\partial x}\right) P_d$  – координаты крутизны скоростной характеристики дроссельного привода;  $K_{\text{ВХ}} = \frac{K_3}{A_n}$ ;  $z_{\text{ВХ}}$  – усилие на входящем звене;  $z_\delta$  – координата перемещения ведущего колеса;  $z$  – сигнал рассогласования [6]

Расход жидкости, обусловленный скольжением гидропривода

$$\Delta Q_{СК} = K_{Qp} \Delta P_d$$

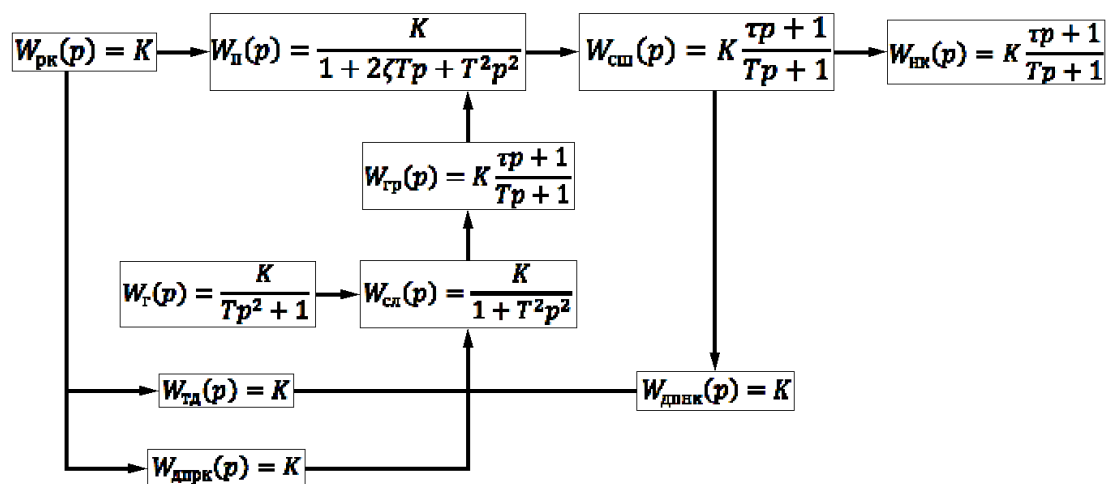
Уравнение сил, действующих на массу рабочего органа

$$m \frac{d^2(\Delta y_u)}{dt^2} + b \frac{d(y_u)}{dt} + C_{ш} \Delta y_u = C_{ш} (\Delta y_{\delta} - \Delta y_u) = R = \Delta P d A d$$

Здесь  $m$  – масса движущих частей электрогидроусилителя, приведенная к штоку поршня, кг;  $b$  – коэффициент вязкого трения, Нм/с;  $y$  – перемещение штока поршня, м;  $R$  – полезная нагрузка, приведенная к штоку поршня, Н;  $V$  – объем жесткости, находящийся в силовом цилиндре (принимаем его равным половине объема цилиндра),  $m^3$ ;  $E_{ж}$  – модуль объемной упругости жесткости, Н/м<sup>2</sup>;  $y_{вх}$  – координата перемещения входного звена ЭГУА, м;  $y_{\delta}$  – координата перемещения штока ЭГУА, м;  $K_{ос}$  – коэффициент обратной связи;  $K_{вх}$  – коэффициент передачи входного сигнала;  $K_{вх} = K_{пер} * K_{ос}$ ;  $K_{пер} = \Delta b / y_{вх}$ ;  $C_{ш}$  – коэффициент шарнирной нагрузки, Н/м.

В работе применены два способа решения уравнения – прямое решение методом "Рунге–Кутта" и структурное моделирование в "Matlab".

На рис. 3 приведена структурная схема разомкнутой системы "ЭГУА – рулевое управление" автотранспортного средства.

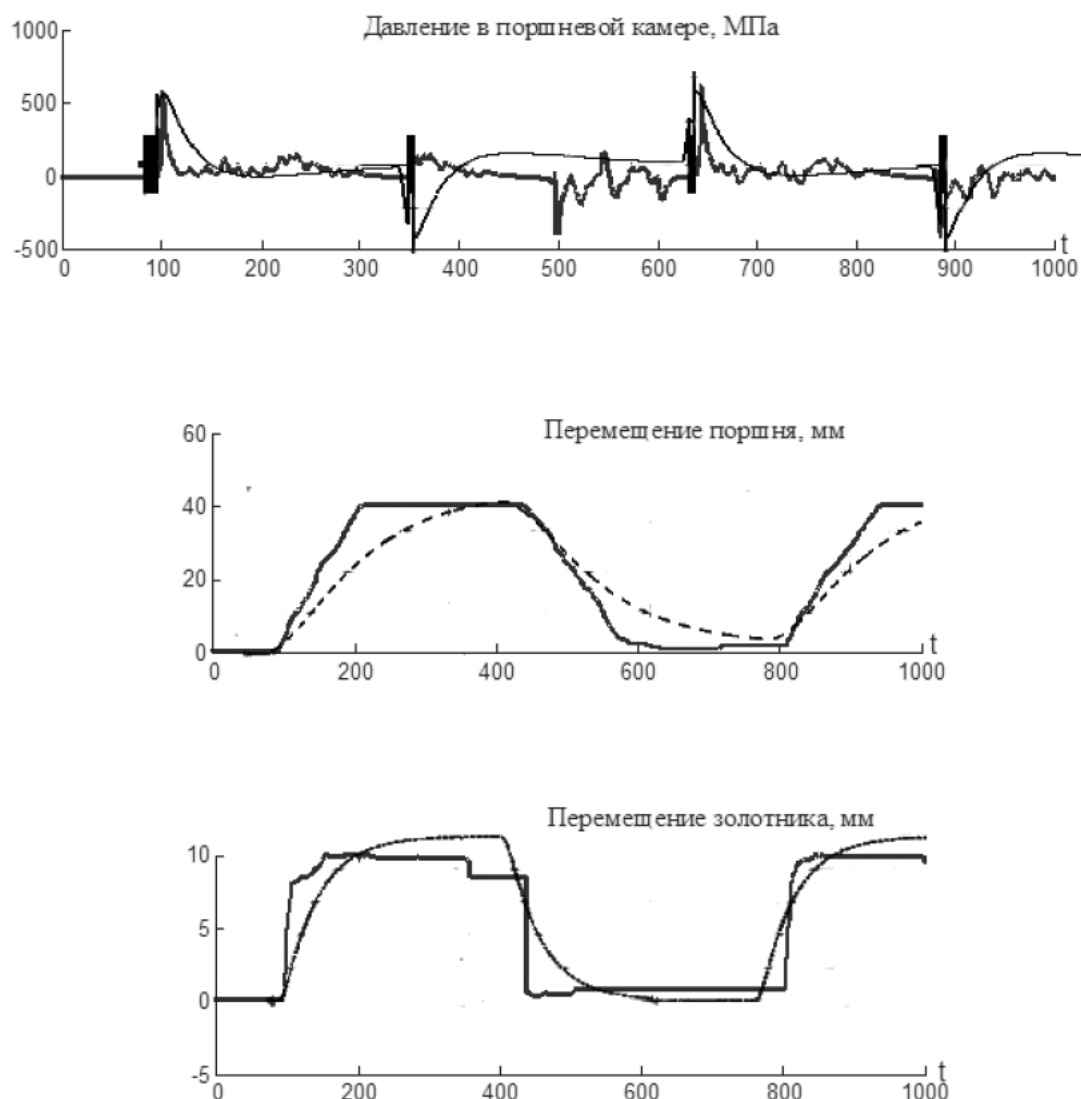


**Рис. 3.** *рк – рулевое колесо; п – поршень; сш – сошка; нк – направляющие колеса; гр – гидрораспределитель; г – генератор; сл – соленоид; тд – тензодатчик; дпнк – датчик положения направляющих колес; дпрк – датчик положения рулевого колеса*

При моделировании системы учтено ограничение по давлению и времени реакции системы "ЭГУА – рулевое управление", нелинейная зависимость силы трения  $F_{тр}(sy)$  при движении штока ЭГУА.

В результате исследований численного эксперимента с математической модели ЭГУА рулевого управления получены расчетные осцилло-

граммы их режимов работы на основе замкнутой структурной схемы, представленной в работе [7].



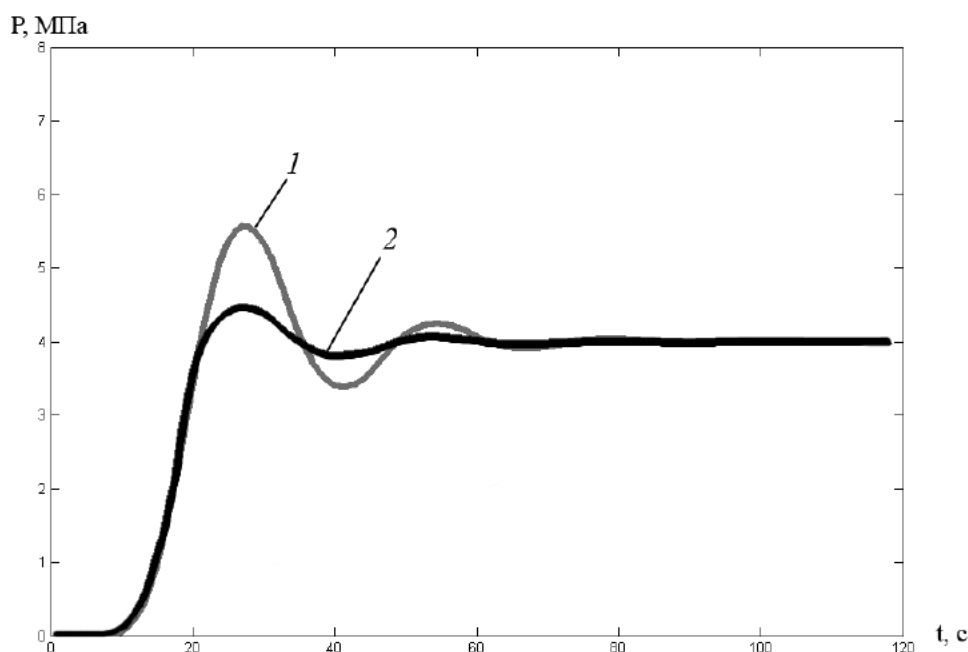
**Рис. 4** Осциллограммы режимов работы ЭГУА рулевого управления

Из осциллограмм рис. 4 установлено, что эффективность достигнутая за счет рациональных, конструктивных и режимных параметров новых технических решений составила 20%, что соответствует требуемому уровню надежности.

В результате анализа режимов работы ЭГУА рулевого управления установлено, что рациональные переходные процессы могут быть достигнуты за счет разработанной конструктивной схемы с применением электрогидравлических и электротехнических элементов.

Для оценки эффективности установленных рациональных, конструктивных и режимных параметров предложенных технических решений, на основе численных экспериментальных исследований получен график

переходного процесса рис. 5.



**Рис. 5. 1 – переходный процесс в существующей конструкции ГУА полученный Меркуловым Н.М.; 2 – переходный процесс в конструкции ЭГУА с оптимальными параметрами и при применении технических решений по внедрению электрогидравлических агрегатов и электротехнических элементов**

Определение работоспособности системы «Электрогидравлический усилительный агрегат – рулевое управление» автотранспортных средств устанавливается из её общей передаточной функции подстановкой  $P=j\omega$ , где получено характеристическое уравнение в частной области в виде

$$X(A_s, \Omega) + Y(A_s, \Omega)j = 0$$

Решаем совместно систему

$$\begin{cases} X(A_s, \Omega) = 0; \\ Y(A_s, \Omega) = 0; \end{cases}$$

которая приведена в работе [7].

Оценка результатов теоретических и экспериментальных исследований показали, что расхождение между ними не превышает 14,5%, что допускается в инженерных расчетах и подтверждает правильность установленного требуемого уровня надежности функционирования системы «ЭГУА – рулевое управление».

### Список литературы

1. Сапожников Р.А., Матвеев П.Н., Родин Б.П., Филадельфина Н.А.

Основы технической кибернетики: учеб. пособие для вузов. М.: Высшая школа, 1970. 464 с.

2. Семенов М.В. Кинематические и динамические расчеты исполнительных механизмов. Л.: Машиностроение, 1974. 432 с.

3. Могендович Е.М. Гидравлические импульсные системы. Л.: Машиностроение, 1977. 216 с.

4. Вермишев Ю.Х. Основы управления ракетами, 1968. 320 с.

5. Веселов П.В. Определение работоспособности электромеханической системы электрогидроусилительного агрегата рулевого управления автотранспортных средств. // Известия ТулГУ. Технические науки. Тула: Издательство ТулГУ, 2012. Вып. 12. Ч. 3. С. 194-197.

6. Веселов П.В. Математическая модель электрогидроусилительного агрегата рулевого управления автотранспортных средств // Известия ТулГУ. Технические науки. Тула: Издательство ТулГУ, 2012. Вып. 12. Ч. 3. С. 190-193.

7. Веселов П.В. Определение работоспособности электромеханической системы электрогидроусилительного агрегата рулевого управления автотранспортных средств // Известия ТулГУ. Технические науки. Тула: Издательство ТулГУ, 2012. Вып. 12. Ч. 3. С. 194-197.

*Ядыкин Евгений Александрович, д-р техн. наук, проф., Россия, Тула, Тульский государственный университет,*

*Веселов Павел Валерьевич, асп., Россия, Тула, Тульский государственный университет*

#### **TRANSITION PROCESS MODELLING OF THE "ELECTROHYDRAULIC AMPLIFYING UNIT – STEERING" SYSTEM OF MOTOR VEHICLES**

*E.A. YAdykin, P.V. Veselov,*

*Transition process modelling of the "electrohydraulic amplifying unit – steering" system of motor vehicles is designated.*

*Key words: electrohydraulic amplifying aggregate, servomotor, transition process.*

*YAdykin Evgenij Aleksandrovich, doctor of technics, professor, Russia, Tula, Tula State University*

*Veselov Pavel Valer'evich, postgraduate, Russia, Russia, Tula, Tula State University,*

## ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА, МЕТОДИКА И АППАРАТУРА ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РЕКУПЕРАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

В.М. Степанов, С.В. Котеленко

*Представлены основные моменты, касающиеся планирования эксперимента, методики и аппаратуры исследования, физического моделирования, критериев подобия, условий выполнения подобия.*

*Ключевые слова: планирование эксперимента, методика и аппаратура исследования, критерии подобия, физическое моделирование, теорема подобия.*

Планирование эксперимента и предлагаемая методика соответствуют проведению в лабораторных условиях. Из-за громоздкости и сложности исследуемой системы рекуперации электроэнергии, проводимые испытания основаны на теории подобия физических процессов и составлении критериев подобия, обеспечивающих получение требуемых показаний надежности и функциональной эффективности.

Запишем систему уравнений механической характеристики двигателя, являющейся обобщенным математическим описанием механических характеристик двигателя

$$\left. \begin{aligned} u_i &= R_i \cdot i_i + \sum_{j=1\alpha}^{j=2q} L_{i,j} \frac{di_i}{dt} + \omega \sum_{j=1\alpha}^{j=2q} \frac{dL_{i,j}}{d\varphi} \cdot i_j \\ M &= \frac{1}{2} \cdot \sum_{j=1\alpha}^{j=2q} i_i \cdot \sum_{j=1\alpha}^{j=2q} \frac{dL_{i,j}}{d\varphi} \cdot i_j \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

В теории электромагнитных переходных процессов электрических машин в ортогональных осях применяются обычно три системы координат, которые являются частным случаем координатной системы, вращающейся с произвольной скоростью  $\omega_k$ :

Система координат  $[\alpha, \beta]$ , неподвижная относительно статора и вращающаяся относительно ротора с частотой вращения статора,  $\omega_k = 0$ ;

Система координат  $[d, q]$ , неподвижная относительно ротора и вращающаяся относительно статора с частотой вращения ротора,  $\omega_k = \omega_\Sigma = 2\pi f_1(1-s)$ ;

Система координат  $[x, y]$ , вращающаяся относительно статора с синхронной скоростью и являющейся неподвижной относительно поля статора асинхронной машины, в этом случае  $\omega_k = 0$ . [3]

Рассмотрим случай двигательного режима работы асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором в системе координат  $[\alpha, \beta]$ .

для статора

$$\left. \begin{aligned} u_{s\alpha} &= i_{s\alpha} \cdot R_s + \frac{d\psi_{s\alpha}}{dt} \\ u_{s\beta} &= i_{s\beta} \cdot R_s + \frac{d\psi_{s\beta}}{dt} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

для ротора

$$\left. \begin{aligned} 0 &= i_{r\alpha} \cdot R_r + \frac{d\psi_{r\alpha}}{dt} + \omega_{\omega} \cdot \psi_{r\beta} \\ 0 &= i_{r\beta} \cdot R_r + \frac{d\psi_{r\beta}}{dt} - \omega_{\omega} \cdot \psi_{r\alpha} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Случай генераторного режима работы асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором в системе координат  $[d, q]$

для статора

$$\left. \begin{aligned} u_{1d} &= i_{1d} \cdot R_1 + \frac{d\psi_{1d}}{dt} - \omega_{\omega} \cdot \psi_{1q} \\ u_{1q} &= i_{1q} \cdot R_1 + \frac{d\psi_{1q}}{dt} + \omega_{\omega} \cdot \psi_{1d} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

для ротора

$$\left. \begin{aligned} u_{2d} &= i_{2d} \cdot R_2 + \frac{d\psi_{2d}}{dt} \\ u_{2q} &= i_{2q} \cdot R_2 + \frac{d\psi_{2q}}{dt} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

На основе первой теоремы о подобии определим критерии подобия путем приведения уравнений к безразмерному виду, а именно способом интегральных аналогов [1] для систем уравнений (2) и (3).

Разделим каждый член уравнения системы уравнений (2) и (3) на второй член в каждом уравнении и получим следующие критерии подобия

для статора

$$\begin{aligned} \pi_1 &= \frac{u_{s\alpha}}{i_{s\alpha} \cdot R_s} = \frac{i_{s\alpha\infty}}{i_{s\alpha}}, \text{ где } i_{s\alpha\infty} = \frac{u_{s\alpha}}{R_s} \\ \pi_2 &= \frac{\psi_{s\alpha}}{i_{s\alpha} \cdot R_s \cdot t} = \frac{T_{\psi_{s\alpha}}}{t}, \text{ где } T_{\psi_{s\alpha}} = \frac{\psi_{s\alpha}}{i_{s\alpha} \cdot R_s} \\ \pi_3 &= \frac{u_{s\beta}}{i_{s\beta} \cdot R_s} = \frac{i_{s\beta\infty}}{i_{s\beta}}, \text{ где } i_{s\beta\infty} = \frac{u_{s\beta}}{R_s} \\ \pi_4 &= \frac{\psi_{s\beta}}{i_{s\beta} \cdot R_s \cdot t} = \frac{T_{\psi_{s\beta}}}{t}, \text{ где } T_{\psi_{s\beta}} = \frac{\psi_{s\beta}}{i_{s\beta} \cdot R_s} \end{aligned}$$

для ротора

$$\begin{aligned} \pi_5 &= \frac{\psi_{r\alpha}}{i_{r\alpha} \cdot R_r \cdot t} = \frac{T_{\psi_{r\alpha}}}{t}, \text{ где } T_{\psi_{r\alpha}} = \frac{\psi_{r\alpha}}{i_{r\alpha} \cdot R_r} \\ \pi_6 &= \frac{\omega_{\omega} \cdot \psi_{r\beta}}{i_{r\alpha} \cdot R_r} = T_{\psi_{r\beta}} \cdot \omega_{\omega}, \text{ где } T_{\psi_{r\beta}} = \frac{\psi_{r\beta}}{i_{r\alpha} \cdot R_r} \end{aligned}$$

$$\pi_7 = \frac{\psi_{r\beta}}{i_{r\beta} \cdot R_r \cdot t} = \frac{T_{\psi_{r\beta}}}{t}, \text{ где } T_{\psi_{r\beta}} = \frac{\psi_{r\beta}}{i_{r\beta} \cdot R_r}$$

$$\pi_8 = \frac{\omega_\alpha \cdot \psi_{r\alpha}}{i_{r\beta} \cdot R_r} = \frac{T_{\psi_{r\alpha}}}{t}, \text{ где } T_{\psi_{r\alpha}} = \frac{\psi_{r\alpha}}{i_{r\beta} \cdot R_r}$$

Для выполнения условия подобия процессов в обмотках статора и ротора необходимо и достаточно равенство восьми определяющих критериев.

Аналогичным образом определяются критерии подобия для систем уравнений (4) и (5).

Соотнесем параметры уравнений (2) и (3) с параметрами систем уравнений (4) и (5). В результате получим критерии, характеризующие энергетическую эффективность от применения генераторного режима двигателей.

В соответствии с третьей теоремой подобия, необходимым и достаточным условием подобия двух систем является пропорциональность сходственных параметров, входящих в однозначности, и равенство критериев подобия.

Соотнесем уравнений (2), (3) и (4), (5), получим следующие системы уравнений.

$$\left. \begin{aligned} u_{s\alpha} &= i_{s\alpha} \cdot R_s + \frac{d\psi_{s\alpha}}{dt_1} \\ u_{2d} &= i_{2d} \cdot R_2 + \frac{d\psi_{2d}}{dt_2} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

$$\left. \begin{aligned} u_{s\beta} &= i_{s\beta} \cdot R_s + \frac{d\psi_{s\beta}}{dt_3} \\ u_{2q} &= i_{2q} \cdot R_2 + \frac{d\psi_{2q}}{dt_4} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

$$\left. \begin{aligned} 0 &= i_{r\alpha} \cdot R_r + \frac{d\psi_{r\alpha}}{dt_5} + \omega_\alpha \cdot \psi_{r\beta} \\ u_{1d} &= i_{1d} \cdot R_1 + \frac{d\psi_{1d}}{dt_6} - \omega_\alpha \cdot \psi_{1q} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

$$\left. \begin{aligned} 0 &= i_{r\beta} \cdot R_r + \frac{d\psi_{r\beta}}{dt_7} - \omega_\alpha \cdot \psi_{r\alpha} \\ u_{1q} &= i_{1q} \cdot R_1 + \frac{d\psi_{1q}}{dt_8} + \omega_\alpha \cdot \psi_{1d} \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Составим критерии подобия для каждой из систем уравнений (6) – (9).

Для системы уравнений (6) получим следующие соотношения  $u_{2d} = m_u \cdot u_{s\alpha}$ ;  $i_{2d} = m_i \cdot i_{s\alpha}$ ;  $R_2 = m_r \cdot R_s$ ;  $\psi_{2d} = m_\psi \cdot \psi_{s\alpha}$ ;  $t_2 = m_t \cdot t_1$ .

Подставим соответствующие выражения в первое уравнение системы уравнений (6), получим

$$m_u \cdot u_{s\alpha} = m_i \cdot m_r \cdot i_{s\alpha} \cdot R_s + \frac{m_\psi}{m_t} \cdot \frac{\psi_{s\alpha}}{t_1}; \quad (10)$$

Разделим все члены уравнения (10) на  $m_u$ , получим следующие соотношения

$$\frac{m_i \cdot m_r}{m_u} = 1; \quad \frac{m_\psi}{m_t \cdot m_u} = 1;$$

Перепишем константы подобия как сходственные величины двух подобных систем и получим определяющее подобие уравнение [4]

$$\frac{i_{2d}}{i_{s\alpha}} \cdot \frac{R_2}{R_s} / \left( \frac{u_{2d}}{u_{s\alpha}} \right) = 1 \Rightarrow \frac{i_{2d} \cdot R_2}{u_{2d}} \equiv \frac{i_{s\alpha} \cdot R_s}{u_{s\alpha}} = \pi_9;$$

$$\frac{\psi_{2d}}{\psi_{s\alpha}} / \left( \frac{t_2}{t_1} \cdot \frac{u_{2d}}{u_{s\alpha}} \right) = 1 \Rightarrow \frac{\psi_{2d}}{t_2 \cdot u_{2d}} \equiv \frac{\psi_{s\alpha}}{t_1 \cdot u_{s\alpha}} = \pi_{10};$$

Подобие систем выполняется при равенстве критериев подобия  $\pi_9$  и  $\pi_{10}$ .

Для системы уравнений (7) получим следующие соотношения  
 $u_{2q} = m_u \cdot u_{s\beta}; i_{2q} = m_i \cdot i_{s\beta}; R_2 = m_r \cdot R_s; \psi_{2q} = m_\psi \cdot \psi_{s\beta}; t_4 = m_t \cdot t_3$

Подставим соответствующие выражения в первое уравнение системы уравнений (7), получим

$$m_u \cdot u_{s\beta} = m_i \cdot m_r \cdot u_{s\beta} \cdot R_s + \frac{m_\psi}{m_t} \cdot \frac{\psi_{s\beta}}{t_3}; \quad (11)$$

Разделим все члены уравнения (11) на  $m_u$ , получим следующие соотношения

$$\frac{m_i \cdot m_r}{m_u} = 1; \quad \frac{m_\psi}{m_t \cdot m_u} = 1;$$

Перепишем константы подобия как сходственные величины двух подобных систем и получим определяющее подобие уравнение

$$\frac{i_{2q} \cdot R_2}{u_{s\beta}} \equiv \frac{i_{s\beta} \cdot R_s}{u_{s\beta}} = \pi_{11}; \quad \frac{\psi_{s\beta}}{t_3 \cdot u_{s\beta}} \equiv \frac{\psi_{2q}}{t_4 \cdot u_{2q}} = \pi_{12};$$

Подобие систем выполняется при равенстве критериев подобия  $\pi_{11}$  и  $\pi_{12}$ .

Для системы уравнений (8) получим следующие соотношения

$$i_{1d} = m_i \cdot i_{r\alpha}; R_1 = m_r \cdot R_r; \psi_{1d} = m_{\psi_d} \cdot \psi_{r\alpha}; t_6 = m_t \cdot t_5;$$

$$\psi_{1q} = m_{\psi_q} \cdot (-\psi_{r\beta})$$

Подставим соответствующие выражения в первое уравнение системы уравнений (8), получим

$$0 = m_i \cdot m_r \cdot i_{r\alpha} \cdot R_r + \frac{m_{\psi_d}}{m_t} \cdot \frac{\psi_{1d}}{t_6} - m_{\psi_q} \cdot \psi_{r\beta}; \quad (12)$$

Разделим все члены уравнения (12) на  $m_{\psi_q}$ , получим следующие соотношения

$$\frac{m_i \cdot m_r}{m_{\psi_q}} = 1; \quad \frac{m_{\psi_d}}{m_t \cdot m_{\psi_q}} = 1;$$

Перепишем константы подобия как сходственные величины двух подобных систем и получим определяющее подобие уравнение

$$\frac{i_{1d} \cdot R_1}{\psi_{1q}} \equiv \frac{-(i_{r\alpha} \cdot R_r)}{\psi_{r\beta}} = \pi_{13}; \quad \frac{\psi_{1d}}{t_6 \cdot \psi_{1q}} \equiv \frac{-(\psi_{r\alpha})}{t_5 \cdot \psi_{r\beta}} = \pi_{14};$$

Подобие систем выполняется при равенстве критериев подобия  $\pi_{13}$  и  $\pi_{14}$ .

Для системы уравнений (9) получим следующие соотношения

$$i_{1q} = m_i \cdot i_{r\beta}; R_1 = m_r \cdot R_r; \psi_{1q} = m_{\psi_d} \cdot \psi_{r\beta}; t_8 = m_t \cdot t_7;$$

$$\psi_{1d} = m_{\psi_q} \cdot \psi_{r\alpha}$$

Подставим соответствующие выражения в первое уравнение системы уравнений (9), получим

$$0 = m_i \cdot m_r \cdot i_{r\beta} \cdot R_r + \frac{m_{\psi_d}}{m_t} \cdot \frac{\psi_{1q}}{t_8} + m_{\psi_q} \cdot \psi_{r\alpha}; \quad (13)$$

Разделим все члены уравнения (13) на  $m_{\psi_q}$ , получим следующие соотношения

$$\frac{m_i \cdot m_r}{m_{\psi_q}} = 1; \quad \frac{m_{\psi_d}}{m_t \cdot m_{\psi_q}} = 1;$$

Перепишем константы подобия как сходственные величины двух подобных систем и получим определяющее подобие уравнение

$$\frac{i_{1q} \cdot R_1}{\psi_{1d}} \equiv \frac{i_{r\beta} \cdot R_r}{\psi_{r\alpha}} = \pi_{15}; \quad \frac{\psi_{1q}}{t_8 \cdot \psi_{1d}} \equiv \frac{\psi_{r\beta}}{t_7 \cdot \psi_{r\alpha}} = \pi_{16};$$

Подобие систем выполняется при равенстве критериев подобия  $\pi_{15}$  и  $\pi_{16}$ .

Что касается второго уравнения системы уравнений (1), то оно является уравнением движения электропривода, которое преобразуется к следующему виду в частном случае

для двигательного режима работы

$$M - M_c = J \frac{d\omega}{dt} \quad (14)$$

для генераторного режима работы

$$M' + M_c' = J' \frac{d\omega'}{dt'} \quad (15)$$

Составим следующие соотношения

$$M' = m_M \cdot M; \quad M_c' = m_{M_c} \cdot (-M_c); \quad J' = m_J \cdot J; \quad \omega' = m_\omega \cdot \omega; \quad t' = m_t \cdot t;$$

Подставим соотношения в уравнение (14)

$$m_M \cdot M + m_{M_c} \cdot (-M_c) = \frac{m_J \cdot m_\omega}{m_t} \cdot \frac{\omega \cdot J}{t};$$

Разделим каждый член уравнения на  $m_M$

$$\frac{m_{M_c}}{m_M} = 1; \quad \frac{m_J \cdot m_\omega}{m_t \cdot m_M} = 1; \quad \frac{M_c'}{M'} \equiv \frac{(-M_c)}{M} = \pi_{17}; \quad \frac{J' \cdot \omega'}{t' \cdot M'} \equiv \frac{J \cdot \omega}{t \cdot M} = \pi_{18};$$

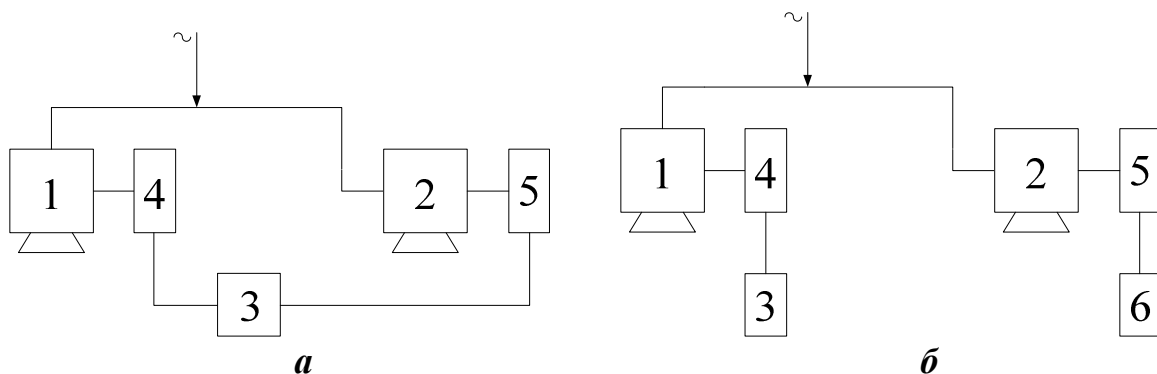
Подобие двух систем соответствует равенству критериев  $\pi_{17} = \pi_{18}$ .

Полученные критерии подобия  $\pi_9 - \pi_{18}$  позволяют проследить динамику изменения критериев в зависимости от комбинации применяемых двигателей в генераторном и двигательном режимах работы в многодвигательной подъемно-транспортной системе рекуперации электроэнергии и

выбрать оптимальный, соответствующий максимальной эффективности и минимальным потерям электроэнергии. Подобная динамика позволяет сформировать топологию применения системы рекуперации электроэнергии в многодвигательном подъемно-транспортном оборудовании для разных областей применения подъемно-транспортного оборудования. Области применения рассматриваемой системы рекуперации электроэнергии подразумевают различные режимы работы оборудования, длительный, повторно-кратковременный и т. д. Задачей обоснования критериев подобия является определение наиболее оптимального критерия подобия для той или иной области применения, получая при этом зависимости параметров, входящих в характеризующие процесс параметров.

Аппаратура измерительной системы по оценке режимов работы системы рекуперации электрической энергии.

Исследование мощностных, пусковых, энергетических режимов работы при двигательном и генераторном режимах работы двигателя основано на использовании структурной схемы измерительной системы, представленной на рисунке.



**Структурная схема измерительной системы:**

**а - для двигателей с одинаковой частотой вращения**

**1 – первый двигатель; 2 – второй двигатель; 4, 5 – муфты;**

**3 – исполнительный элемент с измерительными приборами;**

**б - для двигателей с разной частотой вращения**

**1 – первый двигатель; 2 – второй двигатель; 4, 5 – муфты;**

**3, 6 – исполнительный элемент с измерительными приборами**

Все проводимые измерения фиксируются персональным компьютером ПК посредством контроллера, необходимого для связи с питающей сетью и с двигателем, работающим в генераторном режиме.

**Список литературы**

1. Веников В.А. Теория подобия и моделирования (применительно к задачам энергетики). Учеб. пособие для вузов. Изд. 2-е, доп. и перераб. М.,

«Высш. школа», 1976, 479 с.

2. Гухман А.А. Введение в теорию подобия. Изд. 2-е, доп. и переработан. Учебное пособие для вузов. М., «Высшая школа», 1973, 296 с.

3. Ключев В.И. Теория электропривода: учебник для вузов. М.: Энергоатомиздат, 1985. 560 с.

4. Пеккер И.И. Физическое моделирование электромагнитных механизмов. М., «Энергия», 1969, 64 с.

*Степанов Владимир Михайлович, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой, директор УТЦ «Энергоэффективность», Россия, Тула, ФГБОУ ВПО «ТулГУ»*

*Котеленко Светлана Владимировна, асп., Россия, Тула, ФГБОУ ВПО «ТулГУ»*

**EXPERIMENT PLANNING, TECHNIQUE AND EQUIPMENT OF RESEARCH OF  
ELECTROTECHNICAL SYSTEM OF RECOVERY OF ELECTRIC ENERGY**

**V. M. Stepanov, S. V. Kotelenko**

*The highlights concerning planning of experiment, technique and the equipment of research, physical modeling, criteria of similarity, conditions of performance of similarity are presented.*

*Key words: experiment planning, technique and research equipment, criteria of similarity, physical modeling, similarity theorem.*

*Stepanov Vladimir Mikhailovich, doctor of technical science, professor, head the department «Electric power industry», director of the training center «Energy efficiency», Russia, Tula, Tula state University,*

*Kotelenko Svetlana Vladimirovna, postgraduate, Russia, Tula, Tula state University*

## АВТОМАТИЗАЦИЯ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

В.А. Свистунов

*Рассмотрены преимущества использования автоматизированных частотно-регулируемых электроприводов в насосных установках, а также регулирование режимов работы насосных установок, основные функции автоматической системы регулирования и структура автоматизированной насосной станции. Приведены примеры реализации насосной станции с автоматизированным частотно-регулируемым электроприводом.*

*Ключевые слова:* насосная станция, насосная установка, частотно-регулируемый электропривод, автоматизация, трубопровод.

### Назначение и виды насосных станций

Насосные станции (НС) представляют собой сложный электрогидравлический технический комплекс сооружений и оборудования, в котором осуществляется преобразование электрической энергии в механическую энергию потока жидкости и управление этим процессом преобразования. Основным назначением НС является обеспечение [1-3]:

- требуемого графика подачи жидкости для нормальных и аварийных условий;
- наименьших затрат на сооружение, оснащение и эксплуатацию;
- требуемой степени надёжности и, следовательно, определённой степени бесперебойности работы;
- долговечности, соответствующей технологической значимости объектов, в состав которых они входят;
- удобства эксплуатации (широкое применение автоматики и телемеханики);
- эксплуатации при непрерывно изменяющихся объёмах, режимах потребления жидкости и изменяющемся составе потребителей.

Насосные станции находят широкое применение в промышленности и жилищно-коммунальном хозяйстве. Они характеризуются большим разнообразием функций, схем соединения насосов при совместной работе, регулируемых параметров, категории надёжности и другими показателями.

В зависимости от назначения можно выделить следующие виды НС: хозяйственно-питьевого водоснабжения населённых пунктов и промышленных предприятий; канализационные; систем теплоснабжения; дренажные; противопожарного водоснабжения; мелиоративные; нефтеперекачивающие и др.

По способу объединения насосов можно выделить НС с индивидуальной работой насосов и НС с совместной работой насосов.

## Насосные установки

Основным энергетическим элементом НС является насосная установка, содержащая один или несколько насосов, всасывающую и нагнетательную систему трубопроводов, запорную арматуру, приводной двигатель, а также датчики технологических параметров установки.

В качестве основного силового оборудования на НС применяют объёмные или динамические насосы.

Объёмные насосы работают по принципу вытеснения, давление перемещений жидкости повышается в результате сжатия. К ним относятся возвратно-поступательные (диафрагменные, поршневые) и роторные (аксиально-поршневые и радиально-поршневые, шиберные, зубчатые, винтовые и т.п.) насосы.

Динамические насосы работают по принципу силового воздействия на перемещаемую среду. К ним относятся лопастные (центробежные, осевые) нагнетатели и нагнетатели трения (вихревые, дисковые, струйные и т.п.).

Преимущественное использование получили насосы центробежного типа.

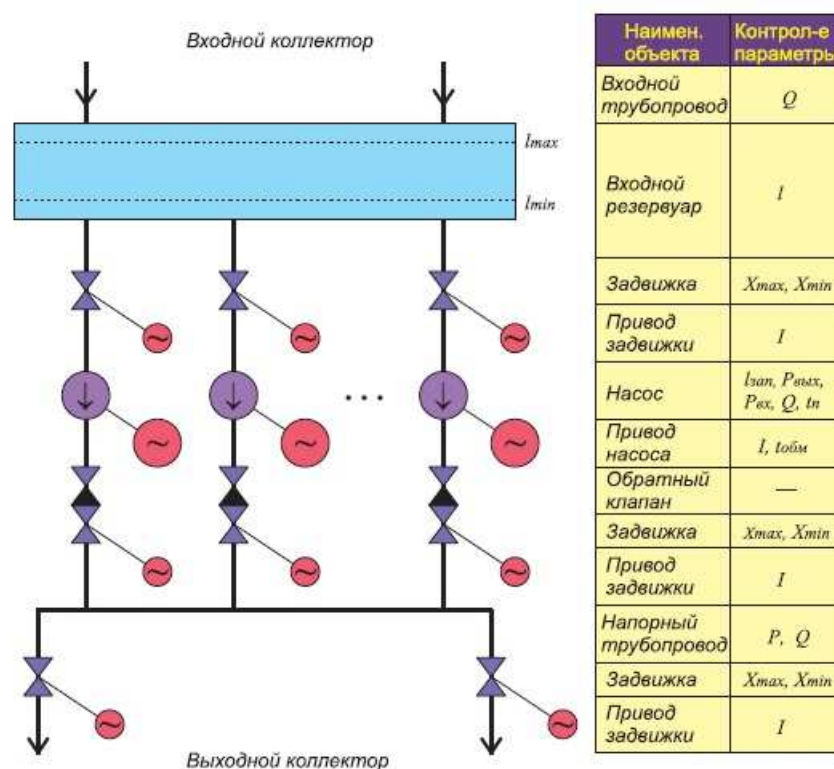


Рис. 1. Технологическая схема насосной станции

На рис. 1 изображена технологическая схема типовой НС. Жидкость поступает во входной коллектор НС и аккумулируется в резервуаре. Из входного резервуара она откачивается насосами, подаётся в выходной

коллектор НС и далее в магистральный трубопровод, откуда и распределяется по потребителям или поступает ко входу следующей НС. Для отделения насоса от трубопровода служат задвижки, размещённые на входном и напорном патрубках насоса. Кроме того, на выходном патрубке насоса установлен обратный клапан, предотвращающий обратный ток жидкости через насос. В качестве приводов насосов и задвижек применяются электрические двигатели. В правой части рис. 1 размещена таблица, в которой для каждого из объектов НС приведён перечень контролируемых параметров. Данный перечень может изменяться в зависимости от назначения НС и мощности насосных установок.

**Регулирование режимов работы насосных установок.** Для обеспечения заданного режима работы НС при изменении условий работы требуется производить регулирование режимов работы насосных установок. Эта задача может быть разделена на два направления: регулирование гидравлических режимов работы насосов и регулирование энергетической эффективности работы оборудования НС.

Для насосных установок центробежного типа применяют следующие способы регулирования подачи жидкости и давления:

- дросселированием трубопровода;
- перепуском части потока жидкости из выходного патрубка насоса во входной;
- отключением или подключением насосов (ступенчатое регулирование);
- изменением частоты вращения рабочего колеса насоса.

**Основные функции автоматической системы регулирования НС.** Согласно требованиям СНиП насосные станции всех назначений должны проектироваться, как правило, с управлением без постоянного обслуживающего персонала: автоматическим – в зависимости от технологических параметров (уровня воды в ёмкостях, давления или расхода воды в сети); дистанционным (телемеханическим) – из пункта управления; местным – периодически приходящим персоналом с передачей необходимых сигналов на пункт управления или на пункт с постоянным присутствием обслуживающего персонала.

Управление регулируемым электроприводом в основном следует осуществлять автоматически в зависимости от давления в диктующих точках сети, расходов воды, подаваемой в сеть, уровня воды в резервуарах.

В НС следует предусматривать измерение давления в напорных водоводах и у каждого насосного агрегата, расходов воды на напорных водоводах, а также контроль уровня воды в дренажных приемках и вакуум-котле, температуры подшипников агрегатов (при необходимости), аварийного уровня затопления (появления воды в машинном зале на уровне фундаментов электроприводов). При мощности насосного агрегата 100 кВт и более необходимо предусматривать периодическое определение КПД с по-

грешностью не более 3 %[4].

При автоматическом или дистанционном (телемеханическом) управлении должно предусматриваться также местное управление.

В насосных станциях должна предусматриваться автоматизация следующих вспомогательных процессов: промывки вращающихся сеток по заданной программе, регулируемой по времени или перепаду уровней, откачки дренажных вод по уровням воды в приямке, электроотопления по температуре воздуха в помещении, а также вентиляции.

**Структура автоматизированной НС.** Упрощённая структурная схема автоматизированной НС с частотно-регулируемым электроприводом приведена на рис. 2.

Электроснабжение НС осуществляется от трансформаторной подстанции ТП. Электроэнергия поступает на распределительное устройство РУ, к которому подключено силовое электрооборудование. Здесь же размещены первичные аппараты для средств учёта потребляемой электроэнергии.

Силовое электрооборудование размещено в электрощитовой НС. Оно содержит: силовые щиты управления СШУ, преобразователь частоты ПЧ и, при необходимости, компенсатор реактивной мощности КРМ. Силовой шкаф управления содержит коммутационный аппарат, с помощью которого осуществляется коммутация питания электродвигателя М центрального насоса Н либо к выходу ПЧ, либо к секции РУ.

В машзале НС размещено основное и вспомогательное оборудование НС. Основное оборудование включает насосы ЦН1–ЦН3, приводные электродвигатели М1–М3. В состав вспомогательного оборудования входят: дренажные, пожарные, вакуум-насосы; задвижки; вентиляторы; обогреватели и другое оборудование. Управление им производится при помощи исполнительных механизмов ИМ1–ИМп.

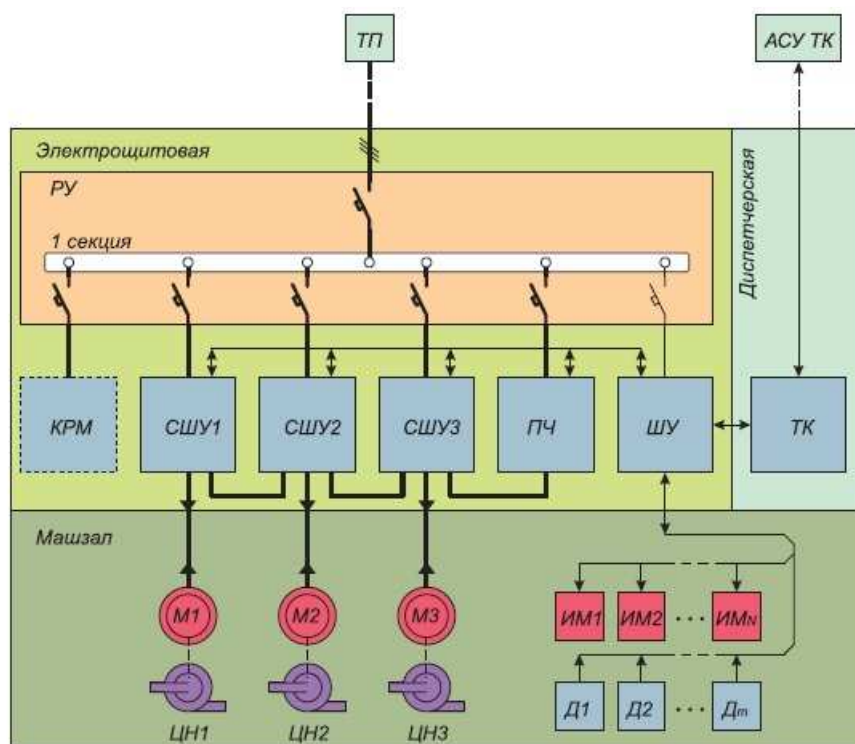
Для получения информации о значениях регулируемых параметров служат датчики Д1–Дп.

Сигналы управления и измерительные сигналы от оборудования НС собираются в шкафу управления ШУ. Здесь же происходит их объединение в одну общую информационную линию связи, которая подключается к технологическому контроллеру ТК.

Технологический контроллер реализует общий алгоритм управления НС и обмен информацией с автоматизированной системой управления технологическим комплексом АСУ ТК. Программное обеспечение ТК содержит ряд функциональных блоков реализованных на программном уровне:

- 1 Управление основной насосной установкой.
- 2 Управление дополнительной насосной установкой, например пожарными насосами.
- 3 Управление дренажными насосами.

- 4 Изменение и обработка параметров оборудования НС.
- 5 Управление отоплением и вентиляцией помещений НС.
- 6 Осуществление функций охраны от несанкционированного проникновения посторонних лиц на территорию НС.
- 7 Обслуживание локального терминала.
- 8 Передача информации о параметрах и режимах работы оборудования НС на АСУ ТК и обработка сигналов управления, полученных от неё.



**Рис. 2. Структурная схема автоматизированной насосной станции**

**Примеры реализации НС с автоматизированным частотно-регулируемым приводом.** Рассмотренные в статье принципы построения автоматизированных НС с асинхронным частотоно-регулируемым электроприводом могут быть применены на НС различного назначения.

Одним из примеров служит НС системы водооборота глинозёмного производства. Здесь выполнена работа по модернизации электропривода центробежного насоса мощностью 125 кВт[5].

### Список литературы

1. Лобачёв П.В. Насосы и насосные станции. М.: Стройиздат, 1990. 145 с.
2. СНиП 2.04.02-84: Насосные станции. Электрооборудование, тех-

нологический контроль, автоматизация и системы управления.

3. Попкович Г.С., Гордеев М.А. Автоматизация систем водоснабжения и водоотведения. М.: Высш. шк. 1986. 237 с.

4. Справочник электроэнергетики предприятий цветной металлургии / Под ред. М.Я. Басальгина, В.С. Копырина. М.: Металлургия. 1991. 193 с.

5. Копырин В.С., Бородацкий Е.Г., Ткачук А.А. Асинхронный частотный электропривод как регулирующий орган насосной станции системы водооборота глинозёмного производства. Труды двенадцатой науч.-техн. конф. «Электроприводы переменного тока». Екатеринбург. 2001.

*Свистунов Владимир Андреевич, студент, Россия, Тула, Тульский государственный университет*

#### **PUMPING STATION AUTOMATION USING VARIABLE FREQUENCY DRIVES**

*V.A. Svistunov*

*The advantages of the use of automated variable frequency drives for pump installations , as well as regulation modes pumping systems , the basic functions of automatic control system and the structure of the automated pump station. The examples of the pumping station with automated variable frequency electric drive.*

*Key words: pumping station, pumping installation , variable frequency drives , automation, pipeline.*

*Svistunov Vladimir Andreyevich, student, Russia, Tula, Tula State University*

УДК 519.1: 621

#### **ОЦЕНКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ПОМОЩЬЮ ИНТЕГРАЛЬНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ**

**Д.М. Шпрехер, Г.И. Бабокин**

*Показана связь задачи контроля работоспособности электромеханической системы с задачей распознавания вида ее технического состояния. Получено выражение для определения интегрального показателя качества функционирования оборудования.*

*Ключевые слова: электромеханическая система, контроль работоспособности, качество функционирования.*

В процессе эксплуатации электромеханическая система (ЭМС) должна выполнять свои функции в соответствии с предназначением. Для

этого необходимо последовательно управлять оборудованием ЭМС для перевода его в заданные технические состояния (ТС) и режимы работы в соответствии с циклограммой функционирования. Если текущее, распознанное ТС ЭМС не совпадает с ожидаемым ТС (ЭМС функционирует неправильно), то это свидетельствует о возникновении неисправности.

По степени общности различают контроль работоспособности ЭМС и контроль исправности ЭМС.

Контроль работоспособности ЭМС заключается в проверке возможности достижения оборудованием целевых ТС. Поэтому результат проверки на работоспособность зависит от тех целей, которые ставятся при управлении оборудованием ЭМС. Для того чтобы проверить работоспособность ЭМС, необходимо проверить правильность ее функционирования во всех состояниях, которые проходит система при достижении целевых ТС, а также во всех целевых состояниях. Таким образом, многократное решение задачи распознавания вида ТС совместно с моделью управления ЭМС, т.е. многократное решение задачи проверки правильности функционирования оборудования ЭМС, позволяет оценить работоспособность ЭМС.

Контроль исправности ЭМС заключается в проверке нормального функционирования ЭМС во всех возможных состояниях ее оборудования. Таким образом, проверка правильности функционирования в каждом ТС позволяет оценить исправность оборудования ЭМС.

Если в процессе контроля правильности функционирования произошло расхождение между ожидаемым и действительным ТС, то это свидетельствует о возникновении неисправности и необходимости решения задачи поиска мест и причин неисправностей.

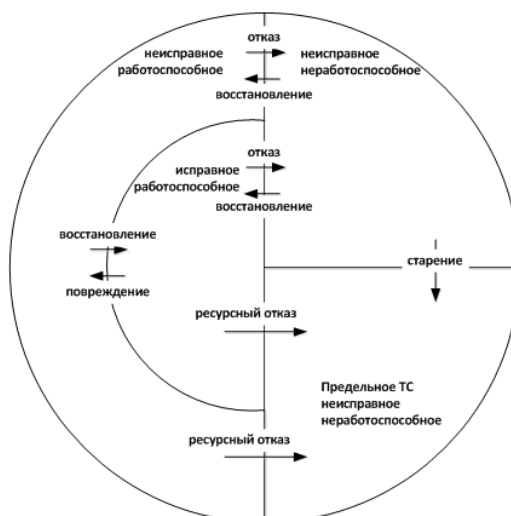
Правильное функционирование означает, что применяемое по назначению оборудование ЭМС в текущий момент времени выполняют алгоритм функционирования согласно заданной циклограмме функционирования, заложенной при проектировании и создании ЭМС. Проверка правильности функционирования дает возможность исключить недопустимое для нормальной работы оборудования влияние неисправностей, возникающих в процессе применения ЭМС по назначению. Проверка правильности функционирования оборудования ЭМС менее полна, чем проверка работоспособности ЭМС, так как позволяет убеждаться только в том, что ЭМС правильно функционирует в данном режиме применения по целевому назначению в данный момент времени. Иными словами, в правильно функционирующей ЭМС могут быть неисправности оборудования, которые не позволяют ему правильно функционировать в других режимах программы функционирования. Контроль работоспособности позволяет определить с определенной вероятностью, что оборудование ЭМС и ЭМС в целом правильно функционирует во всех возможных режимах функционирования ЭМС и в течение всего времени ее наблюдения. Таким образом,

исправная ЭМС всегда работоспособна и функционирует правильно, а неправильно функционирующая ЭМС всегда неработоспособна и неисправна (рис. 1). На рис.1. приведены только агрегированные классы ТС: работоспособное, неработоспособное, исправное, неисправное

Правильно функционирующая ЭМС может быть неработоспособна, и значит, неисправна. Работоспособная ЭМС также может быть неисправна. Предельное ТС ЭМС – техническое состояние ЭМС, при котором его дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна, либо восстановление ее работоспособного ТС невозможно или нецелесообразно.

При любом виде контроля ТС ЭМС, в том числе при поиске мест и причин неисправностей, осуществляется операция распознавания вида ТС ЭМС. В простейшем случае данная операция сводится к операции поэлементного сравнения с шаблоном, в том или ином виде характеризующем типовые ТС ЭМС, в более сложном случае используется модель функционирования ЭМС.

Общие требования к моделям функционирования оборудования ЭМС в исправных и неисправных состояниях, а также к моделям неисправностей состоят в том, что они должны с требуемой точностью описывать представляемые ими ТС и позволять локализовать неисправности. Исправная или неисправная ЭМС может быть представлена как динамическая система, состояние которой в каждый момент времени  $t$  определяется значениями факторов внешней среды  $V$  (ФВС), управляющих воздействий  $K$  (УВ), внутренних (параметров ТС)  $Z$ , выходных координат – измеряемых параметров (ИП)  $Y$ , и множества внеэксплуатационных характеристик (технических описаний) ЭМС. При этом, термин «техническое состояние ЭМС» обозначает агрегированное описание технического состояния ЭМС, например наличие или отсутствие неисправности в ЭМС и не подразумевает «состояние ЭМС» как динамической системы.



**Рис. 1. Переходы оборудования ЭМС и ЭМС в целом из одного технического состояния в другое**

Для обоснования процедур оценки работоспособности ЭМС необходимы:

- математическая модель функционирования ЭМС  $F$ , которая количественно описывает связи между входными воздействиями и решениями на них;
- показатели качества или эффективности функционирования ЭМС, позволяющие судить о целесообразности применения ЭМС по целевому назначению.

В процессе разработки и проектирования ЭМС и его оборудования синтезируются технические и другие характеристики, обеспечивающие достижение заданных показателей качества оборудования, совокупность которых, в свою очередь, характеризует способность ЭМС выполнять свои функции по предназначению, или иначе определяет обобщенное состояние ЭМС. Поэтому с достаточной для практики точностью состояние ЭМС всегда можно представить конечным множеством технических характеристик, определенных техническими параметрами более низкого уровня обобщения. Именно эти технические параметры измеряются при контроле ЭМС. При создании различных подсистем ЭМС нельзя точно реализовать расчетные значения технических параметров ЭМС из-за отклонения технологических режимов производства от требуемых. В нормально спроектированном устройстве разброс технических параметров оборудования ЭМС обычно составляет примерно 10% от номинальных значений. Показатели качества, являющиеся функциями технических параметров, также имеют разброс на множестве реализаций оборудования ЭМС для различных однотипных или подобных ЭМС, т.е. тоже являются случайными величинами. Дополнительно, в процессе применения ЭМС по целевому назначению, особенно при длительных сроках эксплуатации, происходит старение и износ элементов оборудования ЭМС, приводящих к дрейфу технических параметров, снижающий запас их надежности и приводящий к постепенным отказам. В случае достаточного накопления последствий процесса старения возникают скачкообразные изменения технических параметров – внезапные отказы. Доля постепенных отказов элементов современного оборудования ЭМС составляет 70-90%. Процессы старения и износа оборудования приводят к постепенному или скачкообразному изменению показателей качества ЭМС во времени.

Показателем качества ЭМС является действительное число, характеризующее свойство оборудования в соответствующих единицах измерения, например: производительность очистного комбайна (в т/час), коэффициент трения подшипникового узла, и т.д. Соответствующие ИП для приведенных показателей качества, которые могут быть параметрами ТС – напряжение питания, сопротивление обмоток электродвигателей комбайна, температура подшипникового узла редуктора в контрольных точках, и т.д. Показатели качества оборудования ЭМС позволяют судить о целесообразности

ности применения ЭМС по целевому назначению.

Математическая модель  $F$  функционирования ЭМС в общем случае имеет вид:

$$F(X, Z, Y, t), \quad (1)$$

где  $X = [x_1(t), x_2(t), \dots, x_l(t)]$  - вектор-функция входных воздействий на ЭМС, включающих в себя множества значений УВ и ФВС;  $Z = [z_1(t), z_2(t), \dots, z_n(t)]$  - вектор-функция параметров ТС ЭМС;  $Y = [y_1(t), y_2(t), \dots, y_m(t)]$  - вектор-функция ИП ЭМС.

Интегральный показатель качества функционирования оборудования ЭМС представим векторным функционалом  $\Xi$ :

$$\Xi = \Xi\{X, Z\} = \Xi\{X, Y\}, \quad (2)$$

из записи, которого, следуют две возможности его определения:

- вычислить функционал  $\Xi\{X, Z\}$  на множестве входных воздействий и параметров технического состояния, в качестве последних выступают технические характеристики ЭМС;
- вычислить оценку функционала  $\Xi\{X, Y\}$  на множестве входных воздействий и выходных реакций ЭМС.

Интегральный показатель качества функционирования оборудования ЭМС на множестве входных воздействий и технических характеристик ЭМС характерен для этапа проектирования, так как в соответствии с логикой создания оборудования ЭМС, в ходе проектирования известны входные воздействия  $X$ , определены технические характеристики оборудования ЭМС-  $Z$ , известны вид и численные значения математической модели функционирования ЭМС  $F$  (1). Задание показателя качества функционирования оборудования ЭМС в форме  $\Xi\{X, Y\}$  характерно для случаев, когда входные и выходные характеристики ЭМС могут быть измерены средствами контроля ЭМС, а относительно технических характеристик оборудования ЭМС-  $Z$ , существует неопределенность, связанная с процессами деградации, старения, воздействия преднамеренных и естественных ФВС на ЭМС. Представление показателя качества в форме  $\Xi\{X, Y\}$ , помимо знания входных воздействий  $X$  и выходных реакций – измеряемых параметров  $Y$ , в общем случае предполагает знание вида модели (1) и наличие однозначного соответствия (при фиксированных значениях  $X$ ) между техническими характеристиками (параметрами ТС)  $Z$  и выходными реакциями (ИП)  $Y$ . При выполнении данных условий приведенные способы задания  $\Xi$  эквивалентны.

Особенность процедуры контроля таких объектов как ЭМС в процессе применения по целевому назначению состоит в том, что вектор-функцию  $Z$  параметров ТС ЭМС возможно определить лишь косвенно, в

форме  $\Xi\{X, Y\}$ , на основе вектор-функции  $Y$ - ИП, вектор-функции входных воздействий  $X$ , в качестве которых выступают УВ, ФВС и параметрическое описание режима функционирования ЭМС. При этом ФВС контролируются не полностью. Номинальное значение каждого параметра ТС не остается фиксированным при функционировании ЭМС, и является функцией случайного по своей природе ФВС. Различные входные сигналы  $X$  вызывают различную реакцию ЭМС -  $Y$  в одном и том же ТС -  $Z$ . А так как зачастую закон изменения входных сигналов  $X$  априорно неизвестен, то затруднительно заранее определить допустимые значения выходных сигналов  $Y$  для того или иного ТС-  $Z$ , которые подлежат определению. Если существует реальная возможность наблюдения и регистрации входных сигналов объекта в натурных условиях его функционирования (или, по крайней мере, воспроизведения их в лабораторных условиях), то и в этом случае мы не можем однозначно предсказать характер изменения входных, а значит и выходных сигналов в моменты времени, последующие за интервалами наблюдения [1].

Фактически, в силу неизвестности большей части ФВС, входящих в вектор-функцию  $X$ , неопределенности текущего ТС ЭМС  $Z$  и зашумленности ИП  $Y$  задача идентификации модели  $F$  может быть интерпретирована как "некорректно" сформулированная задача по А.Н.Тихонову [2], когда по известным следствиям –  $Y$  необходимо установить причину –  $ZV$ , где  $V$  - вектор-функция ФВС. Необходимо решить приближенное решение уравнения:

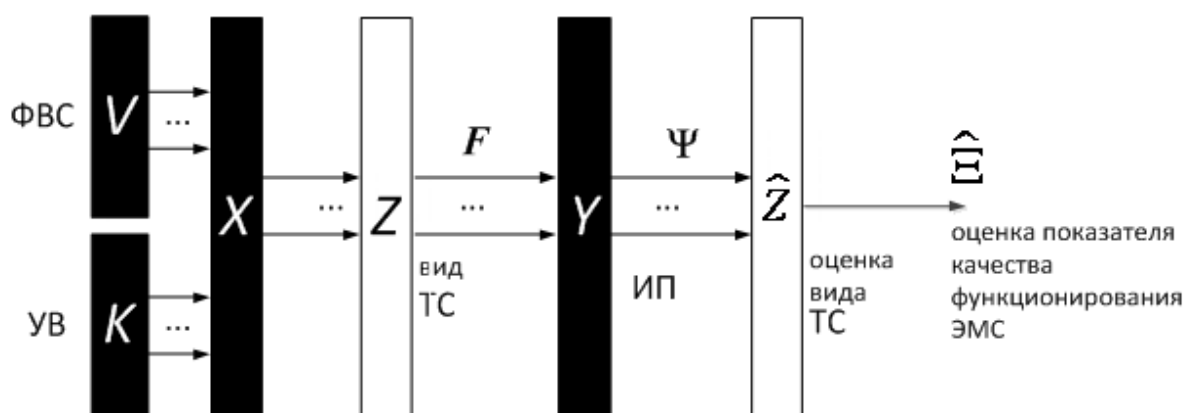
$$VZF = \bar{Y}, \quad (3)$$

где  $Z$  – множество искомых параметров ТС ЭМС;  $V$ – приближенное множество частично известных значений ФВС оборудования ЭМС;  $\bar{Y}$  – множество приближенных значений ИП ЭМС.

На основе отображений множеств входов и выходов модели функционирования ЭМС отобразим теоретико-множественное представление модели ТС ЭМС (рис. 2), где  $F$  – оператор преобразования искомого вектора ТС в вектор ИП,  $\Psi$  - синтезируемый оператор оценки вида ТС по данным ИП, УВ и частично известному вектору ФВС.

Условия корректной постановки требуют выполнения таких достаточно общих свойств как существование, единственность и устойчивость решения  $E$  задачи распознавания вида ТС  $Z$  с помощью модели  $F$  по данным  $X$  и  $Y$ . Задача определения вида  $Z$  ТС ЭМС не удовлетворяет, прежде всего, условию устойчивости, т.к. не все параметры внешней среды наблюдаемы. Опыт показывает, что причина нештатного изменения в значениях ИП  $Y$  не единственная (т.е. зависит и от значений параметров ТС  $Z$  и от значений ФВС  $V$ ), а также может сводиться к маловероятной цепочке сочетаний возмущающих факторов. Например, коэффициент трения изменяется постепенно, а измерение показывает увеличение температуры на

датчике – ненаблюдаемой причиной служило изменение условий эксплуатации ЭМС, т.е. температуры внешней среды, которая и повлияла на выходное значение датчика температуры).



**Рис. 2. Множественное представление модели технических состояний ЭМС**

Распространенным способом получения приближенных решений "некорректно" поставленных задач вида (3) является метод подбора, в ходе которого вычисляется левая часть уравнения (3)  $VZF$  для некоторого подмножества  $\Omega$  элементов  $VZ$ , т.е. решается "прямая задача", и в качестве искомого приближенного решения выбирается такой элемент  $\{vz\}_i$  для которого ошибка  $\rho_Y(VZF, Y)$  минимальна на подмножестве  $\Omega$ . ( $\Omega$  – разница между выходным значением модели и истинным значением обучающей выборки, т.е. ошибка, которая затем используется для подстройки коэффициентов модели). В качестве  $\Omega$  выбирается семейство элементов  $VZ$ , зависящих от конечного ряда числовых параметров. Очевидно, что для решения указанной задачи подбора на этапе синтеза оператора  $\Psi$  необходимо привлечение статистических методов обработки информации с использованием нейросетевых классификационных схем, полученных путем проведения большого числа натурных (или приближенных к ним) экспериментов над реальными ЭМС или их прототипами на протяжении всего жизненного цикла изделий. В ходе этих экспериментов, должен быть многократно реализован процесс функционирования оборудования ЭМС и измерения  $Y$  в различных известных ТС, причем в условиях ФВС, максимально приближенных к натурным условиям функционирования ЭМС.

### Список литературы

1. Новоселов О.Н., Фомин А.Ф. Основы теории и расчета информационно-измерительных систем. М.: Машиностроение, 1980. 280 с.

2. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1979. 288 с.

*Шпрехер Дмитрий Маркович, канд. техн. наук, доц., [shpreher-d@yandex.ru](mailto:shpreher-d@yandex.ru), Россия, Новомосковск, Российский химико-технологический университет (Новомосковский филиал) им. Д.И. Менделеева,*

*Бабочкин Геннадий Иванович, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой, [gibabokin-nov@yandex.ru](mailto:gibabokin-nov@yandex.ru), Россия, Новомосковск, Российский химико-технологический университет (Новомосковский филиал) им. Д.И. Менделеева*

**EVALUATION OF THE PERFORMANCE OF ELECTROMECHANICAL SYSTEMS WITH THE HELP OF THE INTEGRAL INDEX OF QUALITY OF FUNCTIONING OF THE**

*D.M.Shprekher, G.I. Babokin*

*Shows the relationship health tasks of Electromechanical systems with the task of species recognition of its technical status. The expression for definition of the integral index of quality of functioning of the equipment.*

*Key words: Electromechanical system, health monitoring, the quality of operation.*

*Shprekher Dmitry Markovich, candidate of technical science, docent, [shpreher-d@yandex.ru](mailto:shpreher-d@yandex.ru), Russia, Novomoskovsk, Russian Chemical-technological University (Novomoskovsk branch of) them. D.I. Mendeleev,*

*Babokin Gennady Ivanovich, doctor of technical science, professor, manager of department, [gibabokin-nov@yandex.ru](mailto:gibabokin-nov@yandex.ru), Russia, Novomoskovsk, Russian Chemical-technological University (Novomoskovsk branch of) them. D.I. Mendeleev*

## МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ КОНТРОЛЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

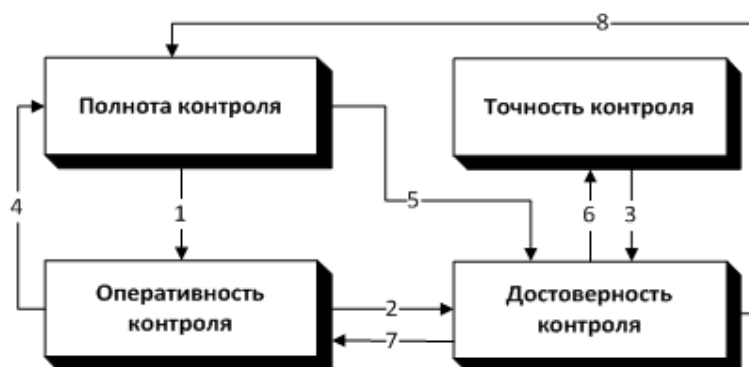
Д.М. Шпрехер

*Проведен аналитический расчет одного из важнейших показателей качества системы технического диагностирования больших электромеханических систем (ЭМС) – достоверности контроля работоспособности. Представлены рекомендации по организации методики диагностических процедур при контроле работоспособности ЭМС.*

*Ключевые слова:* электромеханическая система, достоверность, контроль работоспособности.

Основными показателями и характеристиками контроля работоспособности электромеханических систем (ЭМС) являются: продолжительность, достоверность, полнота контроля технического состояния (ТС), глубина поиска места отказа (неисправности), а также условные вероятности необнаруженного и ложного отказа (неисправности) [1].

Полнота, достоверность и продолжительность контроля работоспособности ЭМС взаимосвязаны между собой. Требования по достоверности и продолжительность обеспечивают заданные характеристики по непрерывности контроля – недопущения пропуска факта свершившейся или пропуска признаков предпосылок аварийной ситуации. Фактор точности контроля или диагностических измерений характеризует инструментальную достоверность, остальные факторы – методическую. При этом вопросы оценки вклада полноты входной информации в общую достоверность и само обеспечение полноты в литературе не исследованы. В каждом конкретном случае эта задача решается на эвристическом уровне с учетом априорной – фактографической, экспертной и эмпирической информации (рисунок).



**Взаимосвязь составляющих эффективности контроля работоспособности ЭМС**

Из рисунка видно, что увеличение числа измеряемых параметров (1) влияет на оперативность доставки измерений и их обработки (анализа); полнота, оперативность и точность контроля (2-3-5) – повышают достоверность анализа; временные ограничения на процедуры опроса датчиков (4) находятся в противоречии с числом (полнотой) опрашиваемых параметров; требования по достоверности анализа (6-7-8) – ограничивают снизу полноту, точность и оперативность контроля работоспособности.

Поэтому в качестве главного показателя, рассматриваемого при контроле работоспособности ЭМС, определена достоверность – как степень объективного соответствия результатов контроля действительному техническому состоянию (ТС) оборудования ЭМС. Точнее, под достоверностью технического диагностирования подразумевается вероятность правильного определения вида ТС оборудования ЭМС (текущего ТС при контроле работоспособности оборудования ЭМС, будущего ТС при прогнозе работоспособности оборудования ЭМС и прошлого ТС при генезе работоспособности оборудования ЭМС), характеризующая надежность применяемых методов и алгоритмов диагностирования.

Пусть достоверность синтезируемого метода контроля работоспособности оборудования ЭМС определяется посредством суммы элементов матрицы соответствия ТС оборудования ЭМС и результатов диагностирования:

$$D = \sum_{i,j=1}^N P_{ii} = 1 - \sum_{i=1}^N \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^N P_{ij}, \quad i, j = \overline{1, N},$$

где  $P_{ii}$  – вероятности правильных решений,  $P_{ij}$  – вероятность ошибки диагностирования оборудования ЭМС вида  $(i, j)$  или  $P(r_i/s_j)$ , т.е. когда оборудования ЭМС находится в  $s_j$ -м ТС, при этом оценка системы диагностирования показывает –  $r_i$ -е ТС оборудования ЭМС, что можно представить матрицей ошибок:

|              |              |              |              |
|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 0            | $P(r_2/s_1)$ | $P(r_j/s_1)$ | $P(r_N/s_1)$ |
| $P(r_1/s_2)$ | 0            | $P(r_j/s_2)$ | $P(r_N/s_2)$ |
| $P(r_1/s_i)$ | $P(r_2/s_i)$ | 0            | $P(r_N/s_i)$ |
| $P(r_1/s_N)$ | $P(r_2/s_N)$ | $P(r_j/s_N)$ | 0            |

где  $r$  – оценка ТС системой диагностирования,  $s$  – истинное ТС оборудования ЭМС,  $N$  – общее количество возможных ТС оборудования ЭМС (для систем технического диагностирования, определяющих работоспособное и неработоспособное ТС ЭМС в целом  $N = 2$ ).

Под системой контроля работоспособности (СКР) оборудования ЭМС будем подразумевать автоматическую систему, обеспечивающую выполнение заданных задач диагностирования ТС оборудования ЭМС с

применением совокупность средств измерений и системы анализа диспетчерского пункта электромеханического комплекса (ЭМК).

Апостериорная вероятность ошибки диагностирования вида  $(i,j)$ , интересующая потребителя результатов обработки измерительной информации определяется как [2,3]:

$$P_{ij}^A = \frac{P_{ij}}{\sum_{i=1}^N \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^N P_{ij}}, \quad i, j = \overline{1, N}.$$

Апостериорные ошибки (т.е. после измерений) и достоверности определяются вероятностями распознавания ТС оборудования ЭМС при известных результатах технического диагностирования.

При условии, что диагностическое оборудование как часть ЭМК и СКР также является одной из подсистем ЭМС с вероятностью исправного состояния отличной от единицы, вероятность ошибки диагностирования оборудования ЭМС вида  $(i,j)$  будет иметь вид:

$$P_{ij} = P_i^1 \sum_{l=1}^{N_s} P_l^2 P_{jl}^3 = \sum_{l=1}^{N_s} P_l^2 P_{jl}^4 P_{ijl}^5, \quad i, j = \overline{1, N}, \quad l = \overline{1, N_s},$$

где  $N_s$  – количество состояний ТС СКР,  $N_s = 3$ , при  $l = 1$  – ТС СКР работоспособное,  $l = 2$  – ТС СКР неработоспособное, а на выходе: "оборудования ЭМС – работоспособны",  $l = 3$  – ТС СКР неработоспособное, а на выходе: "оборудования ЭМС – неработоспособны"; индекс 1 – ЭМС, 2 – СТР,  $i$  и  $l$  – виды ТС соответственно ЭМС и СКР,  $P_i^1$  – априорная вероятность нахождения оборудования ЭМС в  $i$ -м ТС;  $P_l^2$  – априорная вероятность нахождения СКР в  $l$ -м ТС;  $P_{jl}^3$  – условная вероятность того, что в результате диагностирования оборудование ЭМС признано находящимся в состоянии  $j$  при условии, что оно находится в состоянии  $i$ , а СКР в  $l$ -м ТС;  $P_{jl}^4$  – условная вероятность получения результата: "оборудование ЭМС находится в  $j$ -м ТС" при условии, что СКР находится в  $l$ -м ТС;  $P_{ijl}^5$  – условная вероятность нахождения оборудования ЭМС в состоянии  $i$  при условии, что получен результат: "оборудование ЭМС находится в  $j$ -м ТС", а система контроля работоспособности находится в  $l$ -м ТС.

Если известны статистические данные испытаний датчиков и системы анализа, то оценка  $(P^*)$  вероятности ошибки диагностирования вида  $(i,j)$ :

$$P_{ij}^* = P_i^1 \sum_{l=1}^{N_s} P_l^2 \frac{R_j}{N_i}, \quad i, j = \overline{1, N}, \quad l = \overline{1, N_s},$$

где  $R_j$  – число испытаний, при которых СКР зафиксировала  $j$ -е ТС оборудования ЭМС;  $N_i$  – общее число испытаний СКР и оборудования ЭМС, находящегося в  $i$ -м ТС и СКР, находящейся в  $l$ -м ТС.

Вероятности  $P_i^1$  и  $P_l^2$  определяются на этапах лабораторных, заво-

дских исследований и автономных испытаний оборудования ЭМС при подготовке к применению в составе механизированного комплекса, а также испытаний СКР.

При определении вероятностных характеристик результатов диагностирования вида ТС, можно воспользоваться обобщением результата расчета апостериорной достоверности процедуры контроля по двум ТС (исправен и неисправен) на расчет апостериорной достоверности распознавания по множеству ТС. Правомерность данного обобщения обусловлена возможностью итерационного объединения результатов для ТС  $S_i$  и  $\overline{S_i}$ , где под  $\overline{S_i}$  понимаются любые ТС, соответствующие условию "не  $S_i$ ".

Так как ЭМС является многопараметрическим объектом технического диагностирования, ТС его оборудования определяется совокупностью  $n$  независимых диагностических признаков, и СКР различает в пределе  $2^n$  ТС оборудования ЭМС, то:

$$P_{ij} = \begin{cases} \sum_{l=1}^{N_s} P_l^2 \prod_{v=1}^n (P_v - \alpha_{vl}), & \text{ЭМС в } i, j - \text{м ТС,} \\ & \text{параметр } z_v \text{ в допуске, СКР в } l - \text{м ТС,} \\ \sum_{l=1}^{N_s} P_l^2 \prod_{v=1}^n \alpha_{vl}, & \text{ЭМС в } i - \text{м ТС,} \\ & \text{параметр } z_v \text{ в допуске, СКР в } l \text{ ТС,} \\ \sum_{l=1}^{N_s} P_l^2 \prod_{v=1}^n \beta_{vl}, & \text{ЭМС в } i - \text{м ТС и параметр } z_v \text{ не в допуске,} \\ & \text{ЭМС в } j - \text{м ТС и } z_v \text{ в допуске, СКР в } l - \text{м ТС,} \\ \sum_{l=1}^{N_s} P_l^2 \prod_{v=1}^n (1 - P_v - \beta_{vl}), & \text{ЭМС в } i, j - \text{м ТС,} \\ & \text{параметр } z_v \text{ не в допуске, СКР в } l - \text{м ТС,} \end{cases}$$

$$i, j = \overline{1, N}, \quad l = \overline{1, N_s}, \quad v = \overline{1, n},$$

где  $n$  – число параметров ТС оборудования ЭМС;  $P_v$  – априорная вероятность нахождения параметра ТС оборудования ЭМС  $z_v$  в поле допуска;  $\alpha_{vl}$  – вероятность совместного наступления двух событий: параметр ТС оборудования ЭМС  $z_v$  в поле допуска а СКР определяет его вне поля допуска, при условии, что СКР в  $l$ -м ТС;  $\beta_{vl}$  – вероятность совместного наступления двух событий: параметр ТС оборудования ЭМС  $z_v$  вне поля допуска, а СКР определяет его в поле допуска, при условии, что СКР в  $l$ -м ТС.

При определении ТС оборудования ЭМС совокупностью  $n$  параметров – достоверность контроля работоспособности оборудования ЭМС:

$$D = \sum_{l=1}^{N_s} P_l^2 \sum_{v=1}^n (1 - \alpha_{vl} - \beta_{vl}), \quad l = \overline{1, N_s}, \quad v = \overline{1, n}, \quad (1)$$

а при достоверно исправной СКР ( $P_l^2 = 1$ , соответственно номер ТС СКР  $l = 1$ ) - полная вероятность правильного диагностирования:

$$D = \prod_{v=1}^n (1 - \alpha_{v1} - \beta_{v1}), \quad v = \overline{1, n}, \quad (2)$$

где  $\alpha_{v1}$  и  $\beta_{v1}$  – вероятности ошибок первого и второго рода при достоверно исправных датчко-преобразующей аппаратуре, каналах связи и системы анализа;

Введем в выражение (2) изменения, обусловленные двумя особенностями функционирования СКР, характерных для ЭМС, как объектов контроля.

1. Первая особенность заключается в том, что распознавание вида ТС оборудования ЭМС при контроле работоспособности ЭМС осуществляется многократно. Следовательно, для параметров, постоянная времени которых соизмерима с длительностью цикла контроля работоспособности, достоверность может быть рассчитана как достоверность после проведения  $k$  отдельных проверок.

2. Из-за различных последствий появления разных видов ошибок контроля оборудования в процессе применения ЭМС по назначению и возможной значительной разницей между величинами  $\alpha_{v1}$  и  $\beta_{v1}$  достоверности каждого из возможных результатов контроля работоспособности должны отображаться по отдельности. Выбор методики оценки результатов контроля и построение схемы формирования результатов должны производиться таким образом, чтобы любая неисправность или несовершенство СКР могли привести только к ложному появлению результата "Элемент оборудования ЭМС негоден". Возможность ложного появления результата "Элемент оборудования ЭМС годен" должна быть исключена полностью. Такая структурная схема позволяет считать каждый цикл контроля оборудования ЭМС одновременно проверкой состояния СКР. Также, снижению вероятности появления ложного сигнала "Элемент оборудования ЭМС годен" способствует введение ряда различных видов проверок и самопроверок СКР: периодических, перед началом цикла контроля, при получении аварийного сигнала "негоден" и т. д.

С учетом двух упомянутых особенностей достоверность результата "оборудование ЭМС работоспособно"  $D^+$  можно записать как:

$$D^+ = \sum_{h=1}^k \left( \prod_{v=1}^n (1 - \alpha_{v1}^h - \beta_{v1}^h) \right), \quad v = \overline{1, n}, \quad h = \overline{1, k},$$

где  $D^+$  – достоверность результата "оборудование ЭМС работоспособно";  $k$  – количество однотипных проверок, в случае использования в качестве диагностических признаков данных параметров, или  $k$  – количество опросов параметров на протяжении интервала диагностирования;  $n$  – число параметров ТС оборудования ЭМС, выступающих в качестве диагностиче-

ских признаков (в случае использования в качестве диагностических признаков измеряемых параметров, то  $n$  – количество параметров).

При допущении, что вероятность появления аналогичных исходов в каждой проверке (в каждом цикле опроса параметра)  $D^-$  – достоверность результата "оборудование ЭМС неработоспособно" можно записать как:

$$D^- = M_D,$$

где  $M_D$  – математическое ожидание вероятности получения  $h$ -го результата "неработоспособен" в  $k$  проверках (в  $k$  циклах опроса параметров), которая, в свою очередь вычисляется как:  $\prod_{v=1}^n (1 - \alpha_{v1}^h - \beta_{v1}^h)$ ,  $v = \overline{1, n}$ ,  $h = \overline{1, k}$ .

При проведении практических расчетов для оценки принимается минимальное значение  $D^-$  для результата "негоден", т.к. результат "негоден" может быть получен при любой из  $k$  проверок и распространяется на все  $n$  диагностических признаков:

$$D^- = \min\{D^h\}, \quad D^h = \prod_{v=1}^n (1 - \alpha_{v1}^h - \beta_{v1}^h), \quad v = \overline{1, n}, \quad h = \overline{1, k}. \quad (3)$$

В выражениях (1), (3) при решении частных задач контроля работоспособности и наличии статистических данных испытаний разрабатываемых методов и алгоритмов вместо записей вероятностей используются отношения числа испытаний системы диагностирования при наличии ошибок (условных вероятностей ошибок диагностирования) к полному числу испытаний, т.е. вероятностные характеристики в инженерной практике вычисляются "частотным" способом.

Полная вероятность правильного диагностирования (1) это вероятность правильного решения после завершения конечной задачи диагностирования ЭМС, которой, в свою очередь, предшествуют задачи сбора, преобразования, передачи, приема, первичной обработки в информационном тракте ЭМС.

Ошибки принятия решения, определяющего ТС оборудования ЭМС, зависят от ТС и эксплуатационно-технических характеристик всех элементов информационного тракта ЭМС. Принимая независимость двух компонент:  $D_m$  – методической и  $D_i$  – инструментальной составляющей достоверности технического контроля (диагностирования при многоальтернативном исходе проверок), общую достоверность контроля работоспособности ЭМС можно записать как вероятность одновременного появления двух составляющих:

$$D = D_m D_i.$$

Методическая составляющая определяется правильностью оценки вида ТС оборудования ЭМС выбранной совокупностью диагностических признаков при условии, что в процессе диагностирования все измерения произведены абсолютно точно. Она закладывается при разработке методов диагностирования. В частности, на нее влияют количество и местоположе-

ние контрольных точек в оборудования ЭМС, общее количество отдельных проверок, соответствие режимов проверки рабочим режимам и т. д. Инструментальная достоверность определяется стохастическими свойствами контура СКР оборудования ЭМС и зависит от точности определения вида ТС оборудования ЭМС (суммарной погрешности измерений в информационном тракте СКР ЭМС)  $D_p$  и надежности работы самой СКР ЭМС  $D_d$ , что при независимости двух событий можно представить как:

$$D_i \approx D_p D_d. \quad (4)$$

Выражение (4) справедливо при отсутствии ярко выраженной взаимозависимости между  $D_p$  и  $D_d$ , что не всегда имеет место в практике отказов оборудования и деградации ЭМС с длительными периодами эксплуатации между техническим обслуживанием.

В целом, достоверность  $D$  как вероятность правильного определения вида ТС оборудования ЭМС (текущего ТС при контроле оборудования ЭМС в цикле – при контроле работоспособности, будущего ТС при прогнозе оборудования ЭМС и прошлого ТС при генезе оборудования ЭМС), характеризующая надежность применяемых методов и алгоритмов диагностирования представляется сложным вероятностным функционалом вида:

$$D = D_1 \times D_2 \times \left(1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_d^i)\right) \times D_d \times D_p \times (1 - P(t)), \quad i = \overline{1, n},$$

где  $D_m$  – показатель полноты контроля, важная составляющая методической достоверности, выраженный через компоненту  $\left(1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_d^i)\right)$ ;  $D_1$  – составляющая методической достоверности, обусловленная погрешностью аппроксимации обучающей процедуры;  $D_2$  – составляющая методической достоверности, обусловленная погрешностью обобщения при использовании модели технического диагностирования;  $P_d^i$  – вероятность того, что дисциплина обслуживания датчиков ЭМС на интервале предшествующем  $i$ -му сеансу опроса датчиков не адекватна факторам среды функционирования ЭМС и ТС оборудования ЭМС;  $D_d$  – вероятность того, что СКР на интервале  $n$  сеансов опроса датчиков ЭМС сохраняет в установленных пределах значения всех своих параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения;  $D_p = f(\gamma_\Sigma, t)$  – составляющая инструментальной достоверности технического диагностирования, обусловленная погрешностью тракта СКР;  $\gamma_\Sigma$  – результирующая погрешность системы измерений СКР;  $P(t)$  – вероятность того, что вектор параметров, факторов среды функционирования ЭМС "устарел" для принятия диагностического решения;  $t$  – интервал времени, между опросом вектора параметров, факторов среды функционирования ЭМС и принятием диагностического решения;  $n$  – количество опросов дат-

чиков ЭМС, в которых осуществлялась передача потоков параметров на диспетчерский пункт ЭМК.

### **Выводы:**

Таким образом, синтез СКР ЭМС оптимальной по критерию максимума вероятности правильного определения вида ТС оборудования ЭМС является сложной исследовательской задачей структурного и параметрического синтеза с учетом ограничений, обусловленных изменением ТС, факторов среды функционирования ЭМС, в том числе воздействующих на элементы самой СКР ЭМС.

Для обеспечения высоких значений достоверности контроля работоспособности оборудования ЭМС целесообразно проведение многократных циклов решения частных задач диагностирования, например контроля на интервале времени, когда ТС оборудования ЭМС инвариантно относительно управляющих воздействий на ЭМС. Нижняя граница – допустимое значение достоверности распознавания неработоспособного ТС – вероятность безотказной работы контролируемой ЭМС.

Выбор методики оценки результатов контроля работоспособности и построение схемы формирования результатов должны производиться таким образом, чтобы любая неисправность или несовершенство СКР могли привести только к ложному появлению результата "Элемент оборудования ЭМС неработоспособен". Возможность ложного появления результата "Элемент оборудования ЭМС работоспособен" должна быть исключена полностью.

### **Список литературы**

1. ГОСТ 20911-89. Техническая диагностика. Термины и определения.
2. Технические средства диагностирования: Справочник/ В.В. Ключев, П.П. Пархоменко, В.Е. Абрамчук [и др.]. / под общ. ред. В.В. Ключева. М.: Машиностроение, 1989. 672 с.
3. Биргер И.А. Техническая диагностика. М.: Машиностроение, 1978. 240 с.

*Шпрехер Дмитрий Маркович, канд. техн. наук, доц., [shpreher-d@yandex.ru](mailto:shpreher-d@yandex.ru), Россия, Новомосковск, Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева*

### **A METHOD OF INCREASING THE RELIABILITY OF CONTROL SERVICEABILITY OF THE ELECTROMECHANICAL SYSTEMS**

*D.M. Shprekher*

*An analytical calculation of one of the most important indicators of the quality of technical diagnosis large Electromechanical systems (EMC) - reliability checking. Recommendations on organization of the methodology of diagnostic procedures for monitoring the health of EMC.*

*Key words: Electromechanical system, reliability, operability monitoring.*

Shprekher Dmitry Markovich, candidate of technical science, docent, [shpreherd@yandex.ru](mailto:shpreherd@yandex.ru), Russia, Novomoskovsk, Russian Chemical-technological University (Novomoskovsk branch of) them. D.I. Mendeleev

УДК 519.1: 621

## ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОНТРОЛЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ МАШИН

Г.И. Бабокин, Д.М. Шпрехер

*Разработана классификация параметров контроля работоспособности электромеханических систем (ЭМС). Предложены критерии оценки динамичности параметров, определяющие их принадлежность к той или иной группе признаков. Установлены параметры контроля работоспособности основных элементов ЭМС подземных горных машин в соответствии с предложенной классификацией.*

*Ключевые слова:* электромеханическая система, контроль работоспособности, критерий динамичности.

Электромеханическая система (ЭМС) подземных горных машин, основной из которых является механизированный комплекс (МК), является сложной системой, так как состоит из взаимосвязанных ЭМС отдельных машин: механизированной крепи, очистного комбайна, скребкового конвейера и перегружателя и маслостанции, имеющими автономные и общую системы управления комплексом.

При этом ЭМС механизированного комплекса эксплуатируется в тяжелых условиях внешней среды (повышенная влажность, запыленность, наличие агрессивных жидкостей и т.д.) и подвергается воздействию резкопеременных рабочих нагрузок на исполнительные органы отдельных машин, часто вызывающих внезапные отказы элементов ЭМС. В таких условиях при эксплуатации ЭМС необходим постоянный контроль ее работоспособности, который включает контроль правильности функционирования ЭМС и контроль исправности элементов составляющих ЭМС.

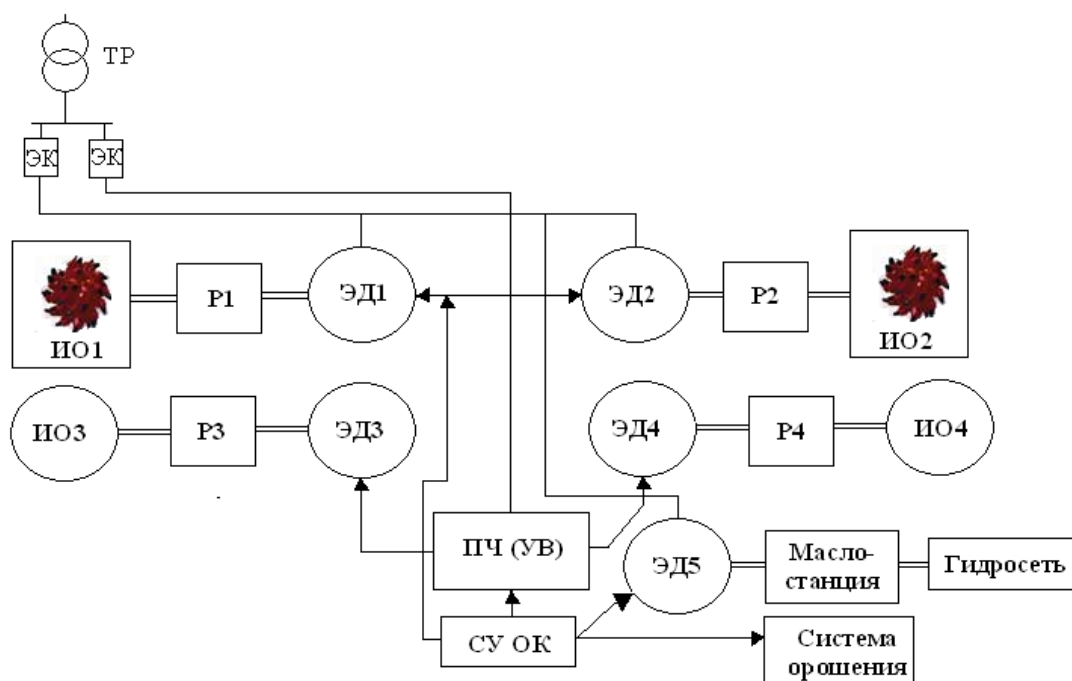
При контроле работоспособности и исправности ЭМС важное значение имеет анализ структуры ЭМС и обоснование параметров контроля.

В последние пять лет в России на пластах мощностью 1,6-4,5 м применяются механизированные комплексы с крепями 1М144К, М138/4, 3М138, М138/2, М138/4, 2УКП-5, КМ700/800, МКЮ.4-11/32 и отечественными комбайнами К-500Ю, К-500, 1КШЭ.У, на которые приходится 60-65% добываемого угля. С теми же крепями применяются комбайны ведущих западных фирм: KSW-460, KSW-500, KGS-245, KGS-345, KGS-460,

KGS-600, EDW-300/600, MB12-2. На пластах мощностью 1,4-1, 8 м применяются комплексы с крепями ЗМ138И, ЗКД90Т и комбайнами Украины РКУ-10, 1ГШ68 [1].

Анализ ЭМС всех машин МК позволил выявить общие узлы и особенности каждой ЭМС по функциональному признаку и с точки зрения установления параметров, необходимых для контроля работоспособности ЭМС комплекса.

На рисунке в качестве примера приведена функциональная схема ЭМС очистного комбайна.



**Функциональная схема ЭМС очистного комбайна; = канал передачи механической энергии; --- канал передачи электрической энергии; → канал передачи информации**

Очистной комбайн включает следующие функциональные узлы: исполнительные органы (ИО1, ИО2) привода резания (шнеки, оснащенные резцами); ИО3, ИО4 привода подачи (движители системы подачи); редукторы приводов резания (Р1, Р2) и подачи (Р3, Р4); электродвигатели приводов резания (ЭД1, ЭД2) и подачи (ЭД3, ЭД4), маслостанции (ЭД5); систему электроснабжения (трансформатор Т) с коммутирующими элементами (ЭК); гидравлическую систему комбайна (подача масла в редуктора и воды для орошения и охлаждения ЭД); систему управления (СУ ОК). Привод подачи комбайна является регулируемым: системы «преобразователь частоты (ПЧ) – асинхронные ЭД» или «управляемый выпрямитель (УВ) – двигатели постоянного тока».

Аналогичный анализ функциональных схем ЭМС МК - скребкового конвейера и перегружателя, механизированной крепи с маслостанцией и

электрогидравлической системой управления, позволил классифицировать основные узлы ЭМС МК по однотипным параметрам для контроля исправности элементов на пять частей: механическую, электрическую, гидравлическую, исполнительных органов систему управления.

Указанные части ЭМС и входящие в них узлы требуют для контроля исправности ЭМС измерения одних и тех же физических параметров, представленных в таблице.

Контроль параметров ЭМС для оценки работоспособности осуществляется непрерывно, и результаты измерений непрерывно сравниваются с эталонными уровнями, позволяющими оценить техническое состояние каждого узла ЭМС как «хорошее», «удовлетворительное» и «неудовлетворительное». Это позволяет принимать решение по дальнейшей эксплуатации ЭМС МК, прогнозировать отказ и ремонт отдельных узлов.

**Параметры для контроля исправности элементов в функциональных частях ЭМС**

| № п/п | Функциональные части и узлы ЭМС                                                                                                      | Контролируемые параметры                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1     | Механическая часть:<br>-редукторы;<br>-выходные валы                                                                                 | Температура нагрева подшипников и масла в редукторе. Вибрация элементов редуктора при работе (специальные виброакустические характеристики). Уровень масла в редукторе. Суммарный зазор в передачах редуктора. Мощность механических потерь в редукторе.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 2     | Электрическая часть:<br>-электродвигатели;<br>-кабельные линии;<br>-трансформатор;<br>-коммутирующая аппаратура;<br>-преобразователи | 2.1 Электродвигатели: фазные напряжения и токи обмоток статора ЭД переменного тока и якоря машины постоянного тока. Высокочастотные пульсации и спектральный состав сетевых токов. Сопротивление изоляции электрооборудования относительно земли. Вибрация подшипниковых узлов ЭД. Температура обмоток ЭД. Профиль коллектора и износ щеток машины постоянного тока.<br>2.2 Кабельная сеть: Сопротивление изоляции кабельной сети.<br>2.3 Трансформатор: сетевые фазные токи и напряжения, фазные сопротивления постоянному току, фазные сопротивления к.з., фазные индуктивности обмоток, потери х.х., шум, температура масла и обмоток, уровень вибрации конструктивных элементов.<br>2.4 Коммутирующие аппараты (автоматические пускатели и контакторы): потребляемый ток, шум, уровень вибрации элементов, температура контактов.<br>2.5 Преобразователи: (преобразователь частоты, управляемый выпрямитель): сетевые фазные токи и напряжения нагрузки. Температура силовых элементов. Шум, вибрация конструктивных элементов. |

**Окончание таблицы**

| № п/п | Функциональные части и узлы ЭМС                                                                 | Контролируемые параметры                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3     | Гидравлическая часть:<br>-гидронасос;<br>-гидравлическая сеть;<br>-гидроцилиндры крепи          | Давление рабочей жидкости в гидросистеме, уровень масла в маслобаке маслостанции. Давление и расход жидкости в системах орошения и охлаждения ЭД. Температура рабочей жидкости в контрольных точках гидросистемы. Уровень вибрации корпуса гидронасоса. Наличие примесей в рабочей жидкости. Скорость передвижки крепи и скребкового конвейера МК. Объемный К.П.Д. и амплитуда пульсаций давления на выходе гидронасоса. Производительность гидронасоса.                                     |
| 4     | Система управления и защиты комплекса:                                                          | Уровень напряжений и токов блоков питания и узлов управления. Положение контактов коммутационной аппаратуры управления и защиты. Тестовый контроль правильности функционирования микропроцессорных систем управления отдельных ЭМС механизмов.                                                                                                                                                                                                                                               |
| 5     | Исполнительный орган:<br>-очистной комбайн;<br>-скребковый конвейер;<br>-механизированная крепь | 5.1 Шнеки очистного комбайна:<br>износ резцов; энергоемкость разрушения;<br>износ элементов цевочного зацепления (рейки и звездочек) движителей бесцепной передачи.<br>5.2 Приводная скребковая цепь с скребками: - износ звеньев цепи; усилие натяжения цепи; энергоемкость транспортировки угля<br>5.3 Механическое ограждение крепи и секции става конвейера: положение элементов отражения крепи; целостность замков секций крепи и става конвейера; конечное положение става конвейера. |

Параметры контроля исправности исполнительных органов ЭМС машин индивидуальны и представлены в п.5 таблицы.

Контроль правильности функционирования ЭМС отдельных машин является индивидуальным, так как каждая машина МК имеет свое предназначение.

Контроль правильности функционирования ЭМС очистного комбайна включает измерение скорости поступательного движения комбайна и оценку его производительности и энергоемкости разрушения угля за цикл выемки (перемещение от запасного до вентиляционного штрека и обратно), с последующим сопоставлением полученных фактических данных с проектными (расчетными) для конкретных горно-геологических условий. В случае выполнения заданных режимных параметров ЭМС комбайна функционирует правильно и при отсутствии отказов и дефектов ЭМС она работоспособна.

Производительность  $Q$  (т/час) и энергоемкость  $\mathcal{E}$  (кВт\*ч/т) очистного комбайна определяются по формулам:

$$Q = \gamma * b * h * V; \quad (1)$$

$$\mathcal{E} = \frac{P}{Q} = \frac{P_0}{Q} + A; \quad (2)$$

где  $\gamma$  - удельный вес угля, т/м<sup>3</sup>;  $b, h$  – соответственно, ширина захвата исполнительного органа комбайна и вынимаемая мощность пласта, м;  $V$  - скорость передвижения комбайна, м/час;  $P$  - мощность потребляемая комбайном при выемке угля, кВт;  $A$  - коэффициент, характеризующий сопротивляемость угля резанию, кВт\*час/т;  $P_0$  - мощность потребляемая электроприводом комбайна в режиме холостого хода (х.х.).

В уравнениях (1) и (2) кроме производительности и энергоемкости присутствует информационный параметр мощность х.х. комбайна  $P_0$ , который характеризует потери активной мощности в редукторах комбайна и нормируется при оценки К.П.Д. редукторов.

Аналогично, определяется правильность функционирования ЭМС скребкового конвейера и перегружателя путем измерения скорости движения тяговой цепи и вычисления производительности и энергоемкости по формулам (1) и (2).

Правильность функционирования механизированной крепи определяется путем измерения скорости передвижения ограждений крепи и става конвейера за цикл выемки угля, с контролем установки крепи и става конвейера в конечные положения. Временной фактический цикл работы крепи сравнивается с заданным технической характеристикой в конкретных горно-геологических условиях и дается оценка правильности функционирования, если заданные характеристики выполняются.

Как видно из вышесказанного, в состав ЭМС входит множество элементов различных по назначению и принципам их действия. Все это приводит к большому разнообразию параметров контроля. Все многообразие параметров можно разделить на четыре группы:

1. Параметры, характеризующие технические состояния (ТС) и режимы работы элементов ЭМС. К ним относятся механические величины, угловые и линейные перемещения, механические колебания, электрические и температурные величины элементов ЭМС и др.

2. Параметры, характеризующие состояние внешних факторов диагностического фона ЭМС. Они отражают состояние внешней среды, в которой функционируют подсистемы электромеханического объекта. Например, применительно к МК, к параметрам второй группы относятся состав рабочей атмосферы – пыль, взвесь, нагруженность, горное давление на элементы конструкций, тепловой, влажностный режим, различные коэффициенты плотностей перемещаемых веществ и др.

3. Сигнальные параметры ЭМС типа «Да» - «Нет». Например «нали-

чие примесей в рабочей жидкости» – да или нет. Применительно к коммутирующей и исполнительной аппаратуре ЭМС, к данному типу параметров можно отнести факты замыкания реле, срабатывания командоконтроллеров, контакторов или магнитных пускателей и др. события.

4. Параметры масштабирования подсистемы сбора и передачи данных в системе диагностирования, представляющие уровни калибровочных электрических сигналов.

Для упрощения процесса определения оптимального алгоритма обработки информации контроля работоспособности предлагается классифицировать измерительные параметры не только по физической сущности, но и по их информационным характеристикам. В качестве критерия, определяющего принадлежность параметра к той или иной группе, предлагается использовать показатель динамичности изменения параметра текущего ТС ЭМС.

С целью классификации параметров по критерию динамичности необходимо определить его численное значение, по которому данный параметр можно отнести к той или иной группе. Критерий должен включать величину, автоматически присутствующую при всех измерениях. Такой величиной является среднеквадратическая ошибка  $\sigma$  информационно-измерительной подсистемы в системе контроля работоспособности электромеханического оборудования. В качестве минимально различимого численного значения критерия динамичности используется величина:

$$\Delta = \frac{3\sigma}{t},$$

где  $t$  – время наблюдения всего вектора параметров, входящих в вышеперечисленные 4 группы.

В теории обработки экспериментальных данных [2] принимается, что все измерения, отличающиеся друг от друга на величину, меньшую  $3\sigma$  с вероятностью 0,99972, считаются постоянными.

В зависимости от скорости изменения параметры ЭМС предлагается разделить на четыре группы:

1. Статические параметры. Для них

$$P_{\max} \leq \Delta,$$

где  $P_{\max}$  – максимальная скорость изменения измеряемого параметра.

т.е. в течение интервала наблюдения параметр практически не изменяется.

2. Динамические параметры. Для них

$$F \cdot \Delta \cdot t > P_{\max} > \Delta,$$

где  $F$  – частота опроса параметра.

$$F = 1/\Delta t_i,$$

где  $\Delta t_i$  – моменты времени, в которые необходимо производить опрос

функции для ее передачи.

Т.е. в течение интервала наблюдения параметр изменяется больше чем на  $\Delta$ , однако изменение его между соседними отсчетами меньше критерия динамичности.

3. Быстроменяющиеся параметры. Для них

$$F \cdot \Delta \cdot t \leq P_{\max},$$

т.е. за время между соседними отсчетами параметры изменяются на величину, превышающую  $3\sigma$ .

4. Сигнальные параметры. Для этой группы

$$P = \begin{cases} \infty & \text{в момент измерения;} \\ 0 & \text{в остальное время.} \end{cases}$$

**Вывод.** Разработана классификация параметров контроля работоспособности ЭМС, учитывающая не только физическую сущность параметров, но и их информационные характеристики, что существенно упрощает процесс определения оптимального алгоритма обработки информации о ТС. Предложены критерии оценки динамичности параметров, определяющие их принадлежность к той или иной группе признаков. Установлены параметры контроля работоспособности основных элементов ЭМС подземных горных машин в соответствии с предложенной классификацией. Сформированная классификация параметров позволяет более точно организовывать автоматическую обработку данных измерений параметров ЭМС, а также формализовать их для параллельных вычислительных базисов при компьютерной обработке.

### Список литературы

1. Линник В.Ю. Анализ технико-экономических показателей работы отечественных и зарубежных механизированных комплексов подземной добычи угля // Горный журнал. №8. 2012. С.12 -25.

2. Браверман Э.М., Мучник И.Б. Структурные методы обработки эмпирических данных. М.: Наука, 1983. 464 с.

*Бабочкин Геннадий Иванович, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой, [gibabokin-nov@yandex.ru](mailto:gibabokin-nov@yandex.ru), Россия, Новомосковск, Российский химико-технологический университет (Новомосковский филиал) им. Д.И. Менделеева,*

*Шпрехер Дмитрий Маркович, канд. техн. наук, доц., [shpreher-d@yandex.ru](mailto:shpreher-d@yandex.ru), Россия, Новомосковск, Российский химико-технологический университет (Новомосковский филиал) им. Д.И. Менделеева*

---

**SUBSTANTIATION OF PARAMETERS OF THE CONTROL OF SERVICEABILITY OF THE ELECTROMECHANICAL SYSTEMS OF UNDERGROUND MINING MACHINES**

*G.I. Babokin, D.M. Shprekher*

*Classification of parameters of control of capacity of the electromechanics systems (EMS) is worked out. Criteria are offered estimations of dynamic quality of parameters, qualificatory their belonging to one or another group of signs. The parameters of control of capacity of basic elements are set EMS underground mountain machines in accordance with the offered classification.*

*Key words: electromechanics system, control of capacity, criterion of dynamic quality.*

*Babokin Gennady Ivanovich, doctor of technical science, professor, manager of department, [gibabokin@yandex.ru](mailto:gibabokin@yandex.ru), Russia, Novomoskovsk, Russian Chemical-technological University (Novomoskovsk branch of) them. D.I. Mendeleev,*

*Shprekher Dmitry Markovich, candidate of technical science, docent, [shpreherd@yandex.ru](mailto:shpreherd@yandex.ru), Russia, Novomoskovsk, Russian Chemical-technological University (Novomoskovsk branch of) them. D.I. Mendeleev*

УДК 62-523.2

**ПРЯМОЕ УПРАВЛЕНИЕ МОМЕНТОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДА В МЕХАНИЗМЕ ПОДЪЁМА КОЗЛОВОГО КРАНА**

**М.А. Шурлепов**

*Рассмотрено преимущество применения электропривода с системой прямого управления моментом в качестве составляющей механизма подъёма козлового крана. В качестве лабораторной установки использована математическая модель электропривода, реализованная в пакете Simulink программы Matlab. Приведены результаты моделирования данной системы под изменяемой по времени и величине нагрузкой, соответствующей полному циклу работы козлового крана, а также с учетом ограничения угловой скорости на валу ротора двигателя согласно режимам работы.*

*Ключевые слова: козловой кран, механизм подъёма, прямое управление моментом, электропривод, моделирование, нагрузка.*

Электропривод с системой DTC (DirectTorqueControl)отрабатывает стопроцентный скачок задания момента за 1 – 2 мс, обеспечивает регулирование момента при низких частотах вращения, включая и нулевую, а также обеспечивает точность поддержания скорости на уровне 10% скольжения асинхронного двигателя без использования датчика скорости и 0,01% с использованием датчика скорости[2].

Характерными признаками системы DTC являются:

наличие в системе релейных гистерезисных регуляторов магнитного потока статора и электромагнитного момента двигателя;

наличие в системе электронной модели двигателя для вычисления ненаблюдаемых координат (потокосцепления статора двигателя, электромагнитного момента двигателя, а также частоты вращения ротора двигателя для бездатчиковых систем;

наличие табличного (матричного) вычислителя оптимального вектора напряжения преобразователя частоты;

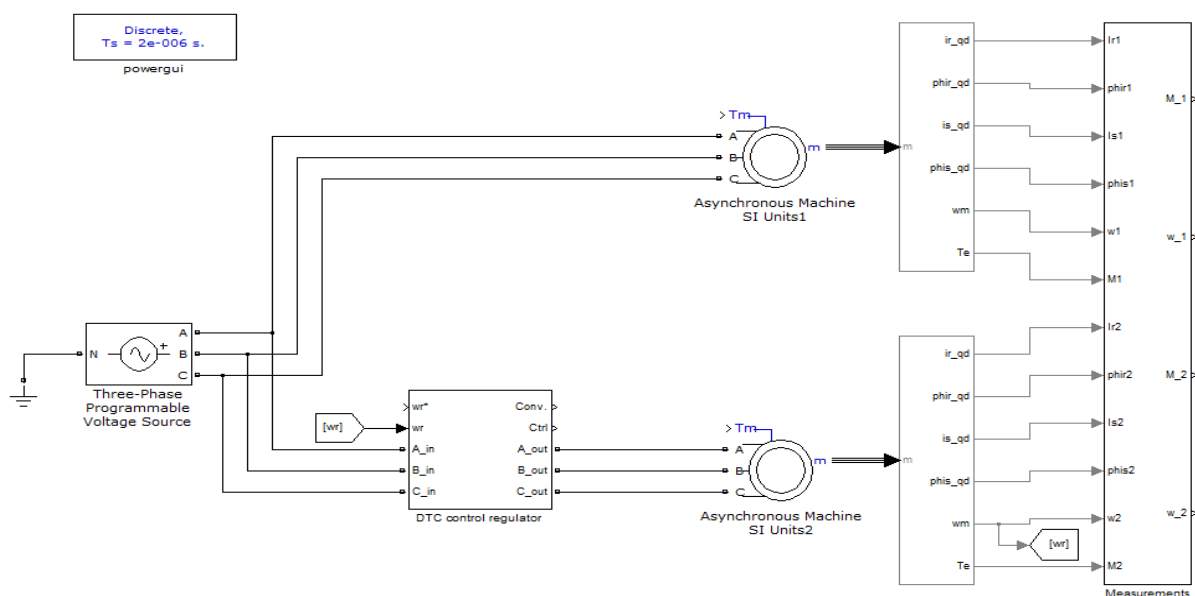
наличие идентификатора фазового сектора, в котором в текущий момент времени находится вектор потокосцепления статора;

отсутствие в системе преобразователей координат;

отсутствие в явно выраженной форме регуляторов составляющих тока статора двигателя;

отсутствие широтно-импульсной модуляции выходного напряжения преобразователя частоты [5].

**Описание рабочей модели.** Рабочая модель электропривода подъёма козлового крана с прямым управлением моментом представлена на рис. 1.



**Рис. 1. Рабочая модель электропривода с DTC и при прямом пуске двигателя**

Она состоит из источника трехфазного переменного тока, модели двигателя МТКН 512–8, собственно самой системы управления (DTC) и подсистем, созданных для снятия выходных параметров. Стоит отметить что к источнику питания подключен не один, а два одинаковых двигателя. Первый подключен напрямую к источнику, а второй через систему управления. Это сделано для наглядности при снятии и сравнении показаний ха-

рактических в процессе моделирования. Все характеристики выведены в таблицы окна workspace программы Matlab.

**Принцип работы и описание блока DTC.** Наибольший интерес в модели представляет собой блок DTCcontrolregulator. Как и любая другая модель системы прямого управления моментом, он включает в себя диодный выпрямитель (Three-phasedioderectifier) для работы инвертора (Three-phaseinverter), который в свою очередь и генерирует трех фазное напряжение питания асинхронного двигателя по управляющему сигналу. Самыми важными блоками системы являются блок управления скоростью (Speed-Controller) и блок задания управляющего для инвертора сигнала (DTC). Также в модели присутствует блок измерения напряжения и токов на обмотках статора двигателя. Он необходим для математического расчета действующих величин момента и угловой скорости вращения ротора двигателя. Соответственно можно сказать что отсутствие необходимости наличия механических измерителей этих параметров на валу реального двигателя является одним из важных преимуществ данной системы управления по сравнению с другими, так как повышает простоту и надежность механизма.

Схема блока прямого управления моментом представлена на рис. 2.

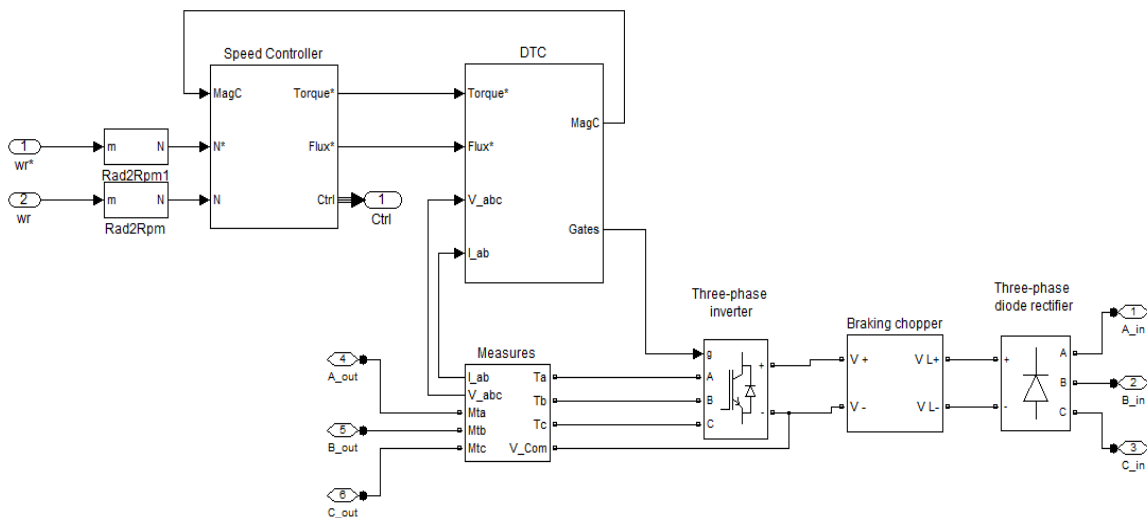


Рис. 2. Схема блока прямого управления моментом

В основу работы системы DTC положено уравнение электромагнитного момента асинхронного двигателя:

$$M = \frac{3}{2} p \frac{k_1 k_2}{\sigma L_m} |\psi_1 \times \psi_2| = \frac{3}{2} p \frac{k_1 k_2}{\sigma L_m} \psi_1 \psi_2 \sin \theta$$

где  $\theta$  – пространственный угол между векторами потокоцеплений статора  $\psi_1$  и ротора  $\psi_2$ . Если модули векторов  $|\psi_1| = \psi_{1m}$  и  $|\psi_2| = \psi_{2m}$  поддерживать постоянными, то величиной момента можно управлять, изменяя угол  $\theta$ .

Алгоритм работы системы DTC строится следующим образом.

Вначале по действующим значениям напряжения и тока в обмотках статора двигателя определяются вектор потокосцепления статора  $\psi_1$  и электромагнитный момент АД М. Затем модуль вектора и момент сравниваются с заданными значениями, при помощи расчета желаемых значений момента и потокосцепления ротора двигателя на основе сравнения и интегрирования действующего и желаемого значений угловой скорости ротора, после чего с помощью компараторов, называемых релейными регуляторами, формируются логические сигналы ошибки  $d\psi$  и  $dm$ .

На основании этих сигналов и зная положение вектора потокосцепления на плоскости базовых векторов можно выбрать такую комбинацию состояний ключей инвертора, при которой будет сформирован базовый вектор напряжения минимизирующий отклонение от заданных значений. Таким образом, в результате работы системы модуль потокосцепления статора и электромагнитный момент АД будут постоянно находиться в зоне допустимого отклонения от заданного значения, определяемого величиной гистерезиса соответствующего регулятора. Выбор базового вектора минимизирующего ошибку регулируемых величин в зависимости от сектора, в котором в данный момент находится вектор  $\psi_1$ , производят с помощью переключающей таблицы. Переключающая таблица состоит из оцифрованных сигналов рассогласования по потоку (1;0) и моменту (1;0;-1) и информации, в каком секторе системы координат, связанной со статором, находится вектор потока статора асинхронного двигателя. С помощью переключающей таблицы выбирается оптимальный выходной вектор напряжения, который нужно подать на статорные обмотки асинхронного двигателя, чтобы обеспечить минимальное отклонение регулируемых величин от заданных значений [3].

Выбор оптимального вектора напряжения производится из восьми возможных базовых векторов напряжения. Основной задачей, от решения которой зависит работоспособность системы прямого управления моментом, является идентификация потокосцепления статора, т.к. эта величина используется во всех последующих вычислениях. Она определяется интегрированием, а эта операция в принципе приводит к накоплению ошибки. В данном случае источником появления ошибки является неточность определения активного сопротивления статора  $r_1$  и его изменение под влиянием нагрева в процессе работы АД.

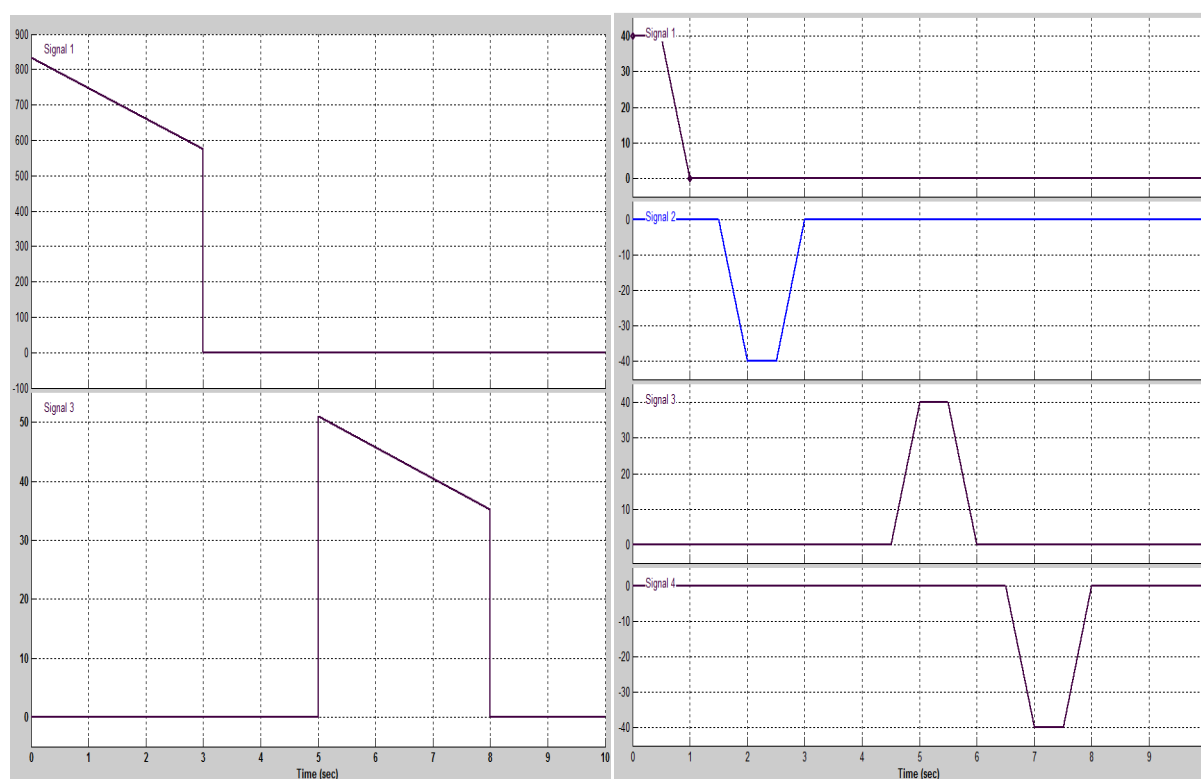
Метод не избавлен от серьезного недостатка: при малых нагрузках возникают пульсации момента и колебания скорости ротора.

**Запуск электропривода с прямым управлением моментом под нагрузкой.** Работа электропривода с прямым управлением моментом будет осуществляться под нагрузкой, которую составит сигнал, заданный на основе реально существующей нагрузочной диаграммы для выбранного в ходе исследования двигателя и реализованный блоком SignalBuilder пакета Simulink. Сигнал, который будет подаваться в качестве нагрузки представ-

лен на рис. 3.

Кроме этого входной сигнал желаемой скорости, который подается на блок управления DTC будет не постоянным, а изменяющимся во времени. Это сделано чтобы смоделировать процессы подъёма и опускания крюковой подвески с грузом и без него. Так как скорость вращения барабана реально существующего механизма подъёма крана не должна превышать  $\omega=4$  рад/с и приняв передаточное число редуктора между барабаном и ротором двигателя  $i_{ред}=10$ , то максимальная скорость вращения ротора двигателя должна быть:

Также во время моделирования стоит учесть время разгона и торможения двигателя.



**Рис. 3. Диаграммы задающихся сигналов нагрузки и скорости**

Стоит так же отметить, что при моделировании осознанно не использовалась, реально существующая тахограмма, так как это привело бы к чрезмерно долгому времени моделирования процессов. В свою очередь это приведет к появлению погрешностей измерения, так как промежутки времени, рассчитанные на затухание колебаний системы значительно больше тех, что будут использованы при моделировании.

Процессы, происходящие в системе во время моделирования по времени приведены в таблице.

**Процессы, происходящие в системе при моделировании**

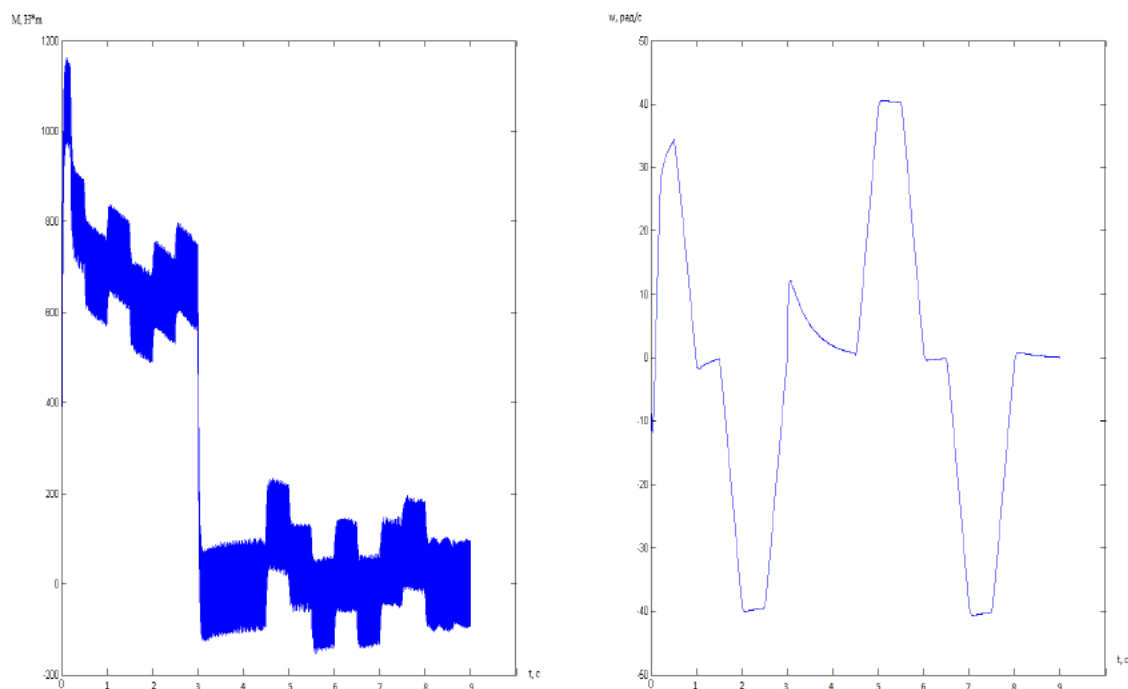
| Промежуток времени, с | Процесс                                                                                                                            |
|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0-0,5                 | Пуск двигателя с максимальной нагрузкой и набор максимальной скорости (начало подъёма крюковой подвески с грузом)                  |
| 0,5-1                 | Торможение ротора двигателя под нагрузкой (замедление подъёма крюковой подвески с грузом)                                          |
| 1-1,5                 | Полная остановка ротора двигателя под нагрузкой (удержание крюковой подвески с грузом на высоте)                                   |
| 1,5-2                 | Разгон ротора двигателя до максимальной скорости обратного направления под нагрузкой (начало опускания крюковой подвески с грузом) |
| 2-2,5                 | Процесс равномерного вращения ротора двигателя под нагрузкой (равномерное опускание крюковой подвески с грузом)                    |
| 2,5-3                 | Торможение ротора двигателя под нагрузкой (замедление опускания крюковой подвески с грузом)                                        |
| 3-4,5                 | Полная остановка двигателя                                                                                                         |
| 4,5-5                 | Разгон ротора двигателя до максимальной скорости без нагрузки (начало подъёма крюковой подвески без груза)                         |
| 5-5,5                 | Процесс равномерного вращения ротора двигателя без нагрузки (равномерный подъём крюковой подвески)                                 |
| 5,5-6                 | Торможение ротора двигателя без нагрузки (завершение подъёма крюковой подвески)                                                    |
| 6-6,5                 | Полная остановка ротора двигателя (удержание крюковой подвески на высоте)                                                          |
| 6,5-7                 | Разгон ротора двигателя до максимальной скорости обратного направления (начало опускания крюковой подвески)                        |
| 7-7,5                 | Процесс равномерного вращения ротора двигателя без нагрузки (равномерное опускание крюковой подвески)                              |
| 7,5-8                 | Торможение ротора двигателя без нагрузки (завершение опускания крюковой подвески без груза)                                        |
| 8-9                   | Полная остановка двигателя                                                                                                         |

**Результаты моделирования электропривода с прямым управлением моментом под нагрузкой.** В процессе моделирования были получены диаграммы момента и угловой скорости вращения ротора двигателя, которые представлены на рис.4.

Если анализировать диаграмму момента ротора двигателя после моделирования, нетрудно обратить внимание, что максимальный момент при пуске двигателя не превышает номинальный, который по паспортным данным составляет  $1400 \text{ Н}\cdot\text{м}$ , что в свою очередь говорит о износоустойчивости системы и наличии запаса мощности.

На диаграмме скорости заметны отклонения от начально задаваемого сигнала. Особенно четко это видно в промежутки времени 0-1 и 3,5-5 секунд. Данные скачки обусловлены резким изменением величины нагрузки за довольно короткий промежуток времени. Если изменить нагрузоч-

ную диаграмму и тахограмму механизма в сторону увеличения промежутков времени, т.е. увеличить время моделирования с 9 секунд до 200 и более, то эти скачки будут практически незаметны на общей диаграмме скорости и не окажут существенного влияния на устойчивость системы.



**Рис. 4. Диаграммы момента и угловой скорости ротора двигателя при моделировании под нагрузкой**

Благодаря высоким динамическим свойствам в сочетании с относительной простотой алгоритма, что в свою очередь ведет как к аппаратному быстродействию, так и к упрощению обслуживания системы извне, электропривод переменного тока с прямым управлением моментом становится одной из перспективных систем управления при создании электроприводов машин, механизмов и технологических комплексов в различных отраслях промышленности.

### Список литературы

1. Башарин А.В., Постников Ю.В. Примеры расчета автоматизированного электропривода на ЭВМ: учебное пособие для вузов. 3-е изд. Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990. 512с.
2. Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. Управление электроприводами: учебное пособие для вузов. Л.: Энергоиздат. Ленингр. Отд-ние, 1982. 392с.
3. Карасев А.В., Смирнов В.М. Математическая модель управления моментом асинхронного привода: научная статья. Саранск.: ГОУВПО

«МГУ им. Н.П. Огарева, 2008. 6с.

4. Ключев В.И., Теория электропривода: учебник для вузов. 2-е изд. Перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 2001. 704с.

5. Перельмутер В.М. Прямое управление моментом и током двигателей переменного тока. Х.: Основа, 2004. 210 с.

6. Рудаков В.В., Козярук А.Е. Прямое управление моментом в электроприводе переменного тока: учебное пособие. СПб.: СПбГГИ им. Г.В. Плеханова, 2007. 74с.

7. Усольцев А.А. Частотное управление асинхронными двигателями: учебное пособие. СПб.: СПбГУ ИТМО, 2006. 94с.

*Шурлепов Михаил Андреевич, студент, [muxa1508@inbox.ru](mailto:muxa1508@inbox.ru), Россия, Тула, Тульский государственный университет*

#### *DIRECT TORQUE CONTROL ACTUATOR INTO THE LIFTING MECHANISM OF GANTRY CRANE*

*M.A. Shurlepov*

*Consider the advantages of the use of electric drive with direct torque control system as part of the lifting mechanism of gantry crane. As a laboratory setup used a mathematical model of the drive, implemented in Simulink software package Matlab. Simulation results for the system at a variable load and the amount of time corresponding to a full cycle of the gantry crane, and in consideration of the angular speed of the rotor shaft according to the operation modes of the engine.*

*Key words: gantry crane, lifting mechanism, direct torque control, electric drive, modeling, load.*

*Shurlepov Mikhail Andreevich, student, [muxa1508@inbox.ru](mailto:muxa1508@inbox.ru), Russia, Tula, Tula State University*

# **ДИАГНОСТИРОВАНИЕ И НАДЕЖНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

УДК 621.315

## **МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СИЛОВЫХ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ**

П.А. Борисов

*Рассмотрена модель электротехнического комплекса диагностики технического состояния силовых кабельных линий.*

*Ключевые слова: трассопоиск, диагностика технического состояния линий.*

В настоящее время существуют системы трассопоиска и системы диагностики кабелей, но при режиме трассопоиска кабельной линии необходимо присутствие человека, также для точного трассопоиска необходим вывод кабельной линии из рабочего режима, что в случае силовых кабельных линий высокого класса напряжения является достаточно затруднительным. Также большинство систем диагностики и трассировки существуют отдельно, и существующие мобильные системы трассопоиска и диагностики технического состояния либо оснащены большим количеством датчиков и аппаратуры для обработки сигнала, поэтому громоздки и не могут использоваться в местах с ограниченным пространством, также эти платформы из-за сложности технического оснащения достаточно дороги. Также большинство устройств диагностики требует вывода кабельных линий из рабочего режима. Вышеперечисленные причины существенно ограничивают область применения этих систем.

В настоящей статье рассматривается модель трассопоисковой системы, позволяющая производить трассировку кабельных линий без вывода кабельных линий из рабочего режима, без участия человека, а также производить предварительную диагностику технического состояния кабельных линий.

Метод трассопоиска – индукционный метод. Этот метод позволяет производить трассопоиск без вывода кабельной линии из рабочего режима.

В качестве генератора тока звуковой частоты будем использовать

генератор тока звуковой частоты SG 600, обладающий более мощным выходным сигналом по сравнению с генератором SG80, соответственно позволяющий проводить обследование на более дальние расстояния (как известно с увеличением расстояния от места присоединения генератора через ФП к кабельной линии система трассопоиска нуждается в увеличении мощности сигнала, подаваемого на КЛ).

Для приёма сигналов от трассируемой линии будет использоваться самоходная мобильная платформа, оснащённая как емкостным датчиком (штыревая антенна), так и индуктивным датчиком (индуктивная катушка). Также платформу необходимо оснастить устройством обработки полученного сигнала. Обработывая получаемые сигналы, устройство обработки информации будет направлять платформу вдоль трассы залегания трассируемой линии. Также платформа должна быть оснащена датчиком системы навигации типа GPS, включаемой во время трассировки кабельной линии в режим записи маршрута, благодаря чему платформа будет сама наносить маршрут трассируемой кабельной линии непосредственно во время движения, то есть непосредственно во время трассировки.

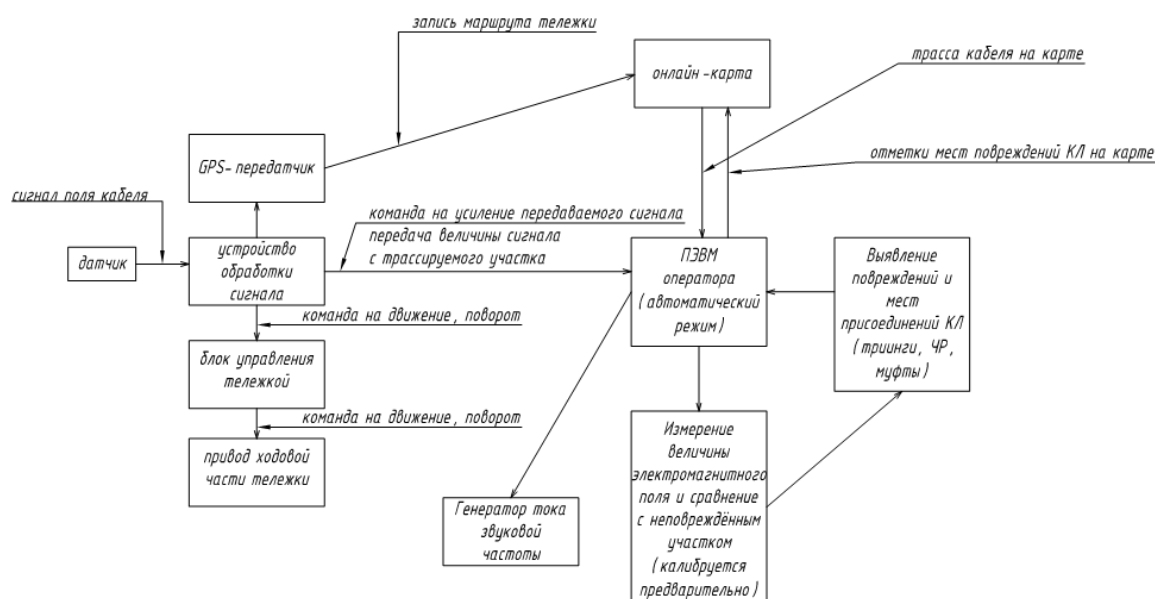
Таким образом создаваемая трассопоисковая система призвана облегчить поиск трассы прокладки искомой кабельной линии за счёт более точного нанесения трассы кабеля на карту, также делать процесс поиска трассы кабеля автоматизированным, т.е. без вмешательства человека.

Подключённый генератор создаёт в кабельной линии ток малых значений частотой 1470 Гц. Эта частота не кратна частоте рабочего тока, протекающей в кабельной линии, следовательно сигнал этой частоты будет легко выделить среди всех токовых гармоник, т.е. среди помех в кабельной линии. А значение генерируемого тока не будет создавать излишней нагрузки на кабельный сердечник.

Так как высоковольтные кабельные линии 35-500 кВ делают из трёх однофазных кабелей, следовательно, генератор возможно подключить только к одному кабелю трассируемой линии, т.е. к одной фазе. Таким образом, для того, чтобы трассировать кабельную линию высокого напряжения (35-500 кВ) достаточно подключения одного генератора к одной из трёх фаз.

Мобильная платформа представляет собой тележку, оснащённую компактным приводом, индуктивным и емкостным датчиками, блоком обработки сигнала, и датчиком поисковой системы и передатчиком, с помощью которого платформа сможет передавать сигнал оператору о необходимости увеличения силы сигнала в линии.

Привод тележки состоит из двух двигателей, с помощью которых тележка будет приводиться в движение и механизма, в помощью которого тележка сможет поворачивать в разные стороны. Схема трассировки приведена на рис. 1.



**Рис. 1. Схема трассировки кабельной линии**

Для начала к трассируемому кабелю подключается генератор тока звуковой частоты через фильтр присоединения. Затем платформа будет запускаться на предполагаемое место проложенного кабеля.

Генератор посылает в кабельную линию ток частоты 1470 Гц. Выбор такого значения частоты не является случайным. Как известно, нагрузка потребителей электроэнергии является неоднородной, также учитывая неоднородность и нелинейность самой кабельной линии, можно прийти к выводу, что в кабельной линии протекают токи не только рабочей частоты (50Гц), но и токи токовых гармоник ( $n \cdot 50 \text{ Гц}$ ), следовательно, сигнал от генератора должен быть довольно хорошо различимым среди токов различных гармоник. Отсюда следует, что ток, вырабатываемый генератором, не должен быть кратным 50 Гц, а поскольку нам необходимо, чтобы для надёжной трассировки линии было достаточно малых значений тока, т.к. при трассировке кабельной линии не создавать нежелательные нагрузки на изоляцию кабельной линии. Было выведено, что такие условия возможны при частоте генерируемого тока выше 1000 Гц.

Генерируемый в кабельной линии ток создаёт в кабельной линии наряду с токами различных гармоник гармоническое электромагнитное поле. Как было сказано выше, это гармоническое электромагнитное поле можно представить в виде концентрических окружностей. Условно можно считать, что трассируемый кабель является излучателем Герца, соответственно:

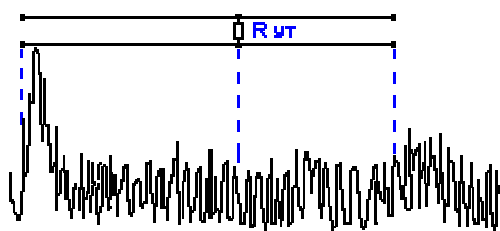
$$A = -\frac{\mu_a}{4\pi R} j\omega P \cdot \exp(-jKR) = -\frac{\mu_a}{4\pi R} Il \cdot \exp(-jKR); \quad P = \frac{Il}{j\omega}$$

$$\varphi = -\frac{1}{4\pi\epsilon_a} \cdot \frac{R}{R} \cdot \frac{\partial}{\partial R} \cdot (R^{-1} P \exp(-jKR)) = \frac{1}{4\pi\epsilon_a} \cdot \left( \frac{PR}{R^3} + jK \frac{PR}{R^2} \right) \exp(-jKR).$$

Токи разных частот создают каждое своё электромагнитное поле. Электромагнитное поле, создаваемое электромагнитными полями токов разных частот определяется датчиками трассоискателя в качестве сигнала.

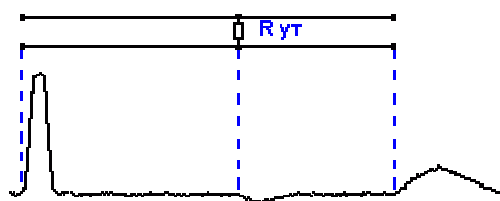
Датчики снимают полученный сигнал. Устройство получает с датчиков сигнал с высоким уровнем помех и наводок.

На рис. 2. Приведен вид сигнала, получаемого то кабельной линии. Очевидно, что без отстройки по частотам определение трассы искомой кабельной линии крайне затруднительно.



**Рис.2. Сигнал, снимаемый датчиками с кабельной линии**

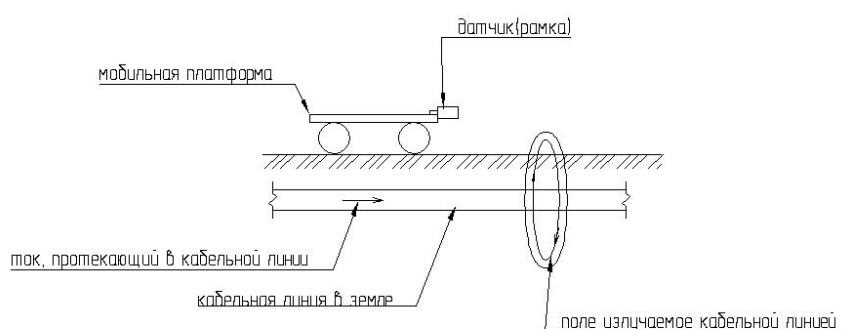
Устройство представляет собой прибор, настроенный на выделение сигнала задаваемой частоты среди остальных сигналов помех, а также на сигнальный максимум. Частота, на которую настроено устройство, аналогично частоте генератора, т.е. является равным 1470 Гц. Получив исходный сигнал, устройство определяет наличие сигнала заданной частоты в спектре сигналов кабельной линии. Вид сигнала после обработки приведён на рис. 3.



**Рис. 3. Сигнал после отстройки от помех**

Определив наличие сигнала, рефлектометр подаёт команду на блок управления приводом тележки на движение с целью отыскания максимума сигнала, т.е. непосредственного отыскания трассируемого кабеля. Найдя максимум сигнала, устройство подаёт команду на движение, т.е. тележка начинает двигаться прямолинейно вдоль трассы трассируемого кабеля. По мере ослабления сигнала в линии устройство будет подавать команду о необходимости увеличения силы сигнала в трассируемой линии.

Процесс трассопоиска приведён на рис. 4.



**Рис. 4. Трассопоиск**

По мере продвижения на ПЭВМ подаётся величина «снимаемого» сигнала а также будет производиться сравнение получаемого сигнала со значениями сигналов на неповреждённых участках КЛ. Значения сигналов на неповреждённых участках КЛ получаем путём калибровки прибора. Таким образом, получаемые отклонения в величине сигнала свидетельствуют о повреждениях кабеля, а также о каких-либо присоединениях/заделках КЛ (триинги, следы ЧР, муфты, оконцевания и т.д.). Затем ПЭВМ делает отметки на онлайн-трассе кабеля о возможных неисправностях.

При повороте кабельной линии устройство подаёт сигнал на поворот тележки сначала в одну сторону, затем в случае отсутствия сигнала при повороте в одну сторону, подаёт сигнал на поворот в другую сторону.

В процессе движения тележки на онлайн-карте будет вычерчиваться маршрут тележки, т.е. трасса искомого кабеля. При прохождении поворотов на большой угол кабельной линии трасса будет отображаться зигзагом, следовательно методом аппроксимации оператор сможет сгладить полученный зигзаг до величины реального поворота кабельной трассы.

Таким образом, разрабатываемая модель трассопоисковой системы позволяет не только эффективно производить трассировку кабельных линий, но и проводить предварительную диагностику технического состояния кабельных линий, соответственно прогнозировать надёжность и остаточный ресурс кабельных линий.

### **Список литературы**

1. Мусалимов В.М. Механика деформируемого кабеля. СПб.: СПбГУ ИТМО, 2005. 203 с.
2. В.С. Дементьев. Как определить место повреждения в силовом кабеле. Третье издание, переработанное. Москва «Энергия», 1980.
3. М.Ю. Шувалов, Ю.В. Образцов, В.Л. Овсиенко, П.Ю. Удовиц-

кий, А.С. Мнека. Развитие водных триингов в экструдированной кабельной изоляции как электрический эффект Ребиндера. Ч.1,2. «Наука и техника» №6 (301), 2006.

Борисов Павел Андреевич, асп., [p.a.borisov-work@yandex.ru](mailto:p.a.borisov-work@yandex.ru), Россия, Тула, Тульский государственный университет

MODEL OF ELECTRO-TECHNICAL COMLEX DIAGNOSTICS OF THE TECHNICAL  
STATE OF ELECTRIC POWER CABLE LINES.

P.A.Borisov

We consider a model of electro-technical complex diagnostics of the technical state of power cable lines.

Key words: Cable routing, diagnostics of technical state lines.

Borisov Pavel Andreevich, postgraduate, [p.a.borisov-work@yandex.ru](mailto:p.a.borisov-work@yandex.ru), Russia, Tula, Tula state university

УДК 621.315

**ВОДНЫЕ ТРИИНГИ И ПРИНЦИП ОПРЕДЕЛЕНИЯ УЧАСТКОВ  
КАБЕЛЬНОЙ ЛИНИИ СОДЕРЖАЩИХ ВОДНЫЕ ТРИИНГИ  
ПРИ ТРАССИРОВКЕ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ**

П.А. Борисов

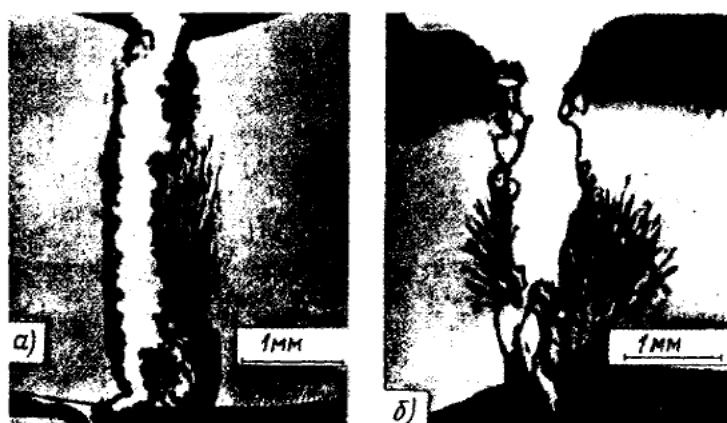
Рассмотрена природа водных триингов в кабельных линиях электропередачи, причина их образования, а также принцип поиска участков кабельной линии, содержащих водные триинги при трассировке кабельных линий.

Ключевые слова: водный триинг, частичный разряд, трассопоиск.

Водными триингами (от англ. «tree» - дерево) (ВТ) называют микроканалы в полиэтиленовой изоляции, заполненные водой и другими химическими соединениями (рис. 1).

Несмотря на то, что в настоящее время не существует единого мнения о механизме возникновения и развития ВТ, в основе объяснения природы триингов большинством исследователей лежат одни и те же физические, химические и электрические явления. Поэтому ниже излагается обобщенная модель ВТ, основанная на анализе результатов ряда исследо-

вательских работ.



**Рис.1. Водные триинги с каналом пробоя:**

***а - кабель с полиэтиленовой изоляцией после 8 лет эксплуатации;***

***б - кабель с изоляцией из сшитого полиэтилена после 4 лет эксплуатации***

Процесс образования ВТ зависит от многих причин: напряженности электрического поля, частоты, длительности воздействия повышенной напряженности, температуры или ее градиента, изоляционного материала, наличия в изоляции антиоксидантов и стабилизаторов напряженности, загрязнений различного типа, полупроводящих экранов по жиле и изоляции, проникновения воды и образования химических соединений в растворах, конструкции кабеля и т.п.

Триингообразование можно условно разделить на три стадии.

*Первая стадия.* Во время вулканизации полиэтилена возникает большое количество микрополостей (от 10А в 1 ммА при «сухой» вулканизации до 10" - при паровой) диаметром 1-30 мкм. Такие микропоры могут, например, возникнуть из-за несовершенного распределения наполнителя в полимерной матрице. В изоляции всегда имеются небольшие количества воды в виде растворов или гомогенно распределенные по толщине (0.02-0.5%). После вулканизации полиэтиленовой изоляции кабеля остается влага. Однако эта влага не образуется в процессе реакции сшивания, а образуется в течение последующих технологических реакций. Вода проникает в изоляцию также в процессе эксплуатации из электропроводящих слоев и внешней среды; увлажнение возникает также в результате теплопередачи. Если изоляция из сшитого полиэтилена окружена водой, то водяные пары диффундируют в изоляцию и насыщают ее в тем большей степени, чем выше ее температура.

Например, при температурах 25, 55 и 90°C насыщение изоляции водой достигается соответственно при 25, 55 и 450 1/млн. Под действием электрического поля высокополярная молекула воды за счет сил, возникающих при электрофорезе, притягивается к местам с повышенной напря-

женностью (микропоры, пористые зафазнения, микротрещины). Уже при средней напряженности электрического поля, превышающей 2МВ/м, следует учитывать возможность быстрого образования триингов. В результате образуются местные скопления воды, по своей структуре близкие к перенасыщенным водным растворам. В [3] указывается, что через определенное время после начала эксплуатации к микропорам диффундируют и другие продукты, образующиеся при вулканизации полиэтилена.

*Вторая стадия.* Вблизи предела растворимости вода выделяется в форме жидкой фазы. Капли воды конденсируются на поверхностях микрополостей, частично заполняя их. Это приводит к еще большей степени неоднородности электрического поля и возможно к возникновению незначительных частичных разрядов (ЧР), которые не могут быть зарегистрированы современной аппаратурой. Эту стадию можно назвать началом ВТ.

*Третья стадия.* В результате выделения во время ЧР тепловой энергии, часть объема воды превращается в пар, что в свою очередь приводит к местному повышению давления в микропорах. Повышенное давление вызывает механическое растрескивание полимера и увеличение объема микрополостей. Кроме того, силы Максвелла, действующие на водозаполненные поры, стремятся исказить их форму в направлении электрического поля. Также следует учитывать ускоренное старение изоляции в подобных областях, т.е. разложение полиэтилена.

Установлено, что загрязнения, существующие в электропроводящих экранах, могут явиться источником разветвленных древовидных образований. Это скорее всего объясняется не механическими, а электрическими причинами, поскольку скопление воды за счет электрофореза в данном случае невозможно. С учетом этого образование ВТ можно связывать с химическими процессами, которые тесно связаны с механическими воздействиями.

Одной из причин возникновения ВТ являются также различные неоднородности на поверхностях проводников. Повышенная напряженность электрического поля на подобных участках ведет к появлению описанных выше процессов.

Несмотря на то, что пока не ясно, какие из этих воздействий являются доминирующими, все они приводят к одному и тому же результату: в окрестностях водных триингов в зоне частично пораженной изоляции на определенной стадии процесса наблюдаются структуры, характеризующиеся наличием водо- заполненных каналов (возможно и не связанных друг с другом) диаметром от 0.1 до 20 мкм [1]. Причем такие структуры могут прорасти на всю толщину изоляции и при этом не приводить к пробое изоляции. Электрическая же прочность полиэтилена в этом случае значительно снижается.

Среди разнообразных по форме ВТ принято выделять две основные группы: триинги типа «куст» (некоторые исследователи называют их дре-

вовидными, кустообразными либо триингами типа «веер») и триинги типа бант. Разветвленные древовидные образования начинают свой рост с поверхности изоляции, в основном с участков, в которых существует неоднородность структуры на границе между изоляцией и внутренним или наружным полупроводящим слоем. Триинги типа бант развиваются из неоднородностей внутри изоляции (загрязнения, включения, микропоры). Они растут более медленно, чем разветвленные, и постепенно их рост вообще приостанавливается. Следует заметить, что только часть микроскопически малых загрязнений и микропор становятся источниками развития триингов. Максимальные длины триингов составляют: для разветвленных - до нескольких миллиметров, для триингов типа «бант» - до нескольких сотен микрометров.

Развитие крупных разветвленных древовидных образований сопровождается переходом ВТ в электрические. На последней стадии может развиваться ударная ионизация, обусловленная повышенными значениями электрической напряженности в окончаниях полностью или частично заполненных каналов. Высокие значения напряженности могут возникнуть при воздействии перенапряжений в реальных условиях эксплуатации. В случае значительных перенапряжений водные каналы ионизируются и становятся проводящими. Поэтому потенциал электрода проникает в толщу изоляции и при определенных значениях напряженности изоляция пробивается. Эту гипотезу, подтверждают исследования, в которых был замечен ускоренный рост триингов в полиэтилене с добавками (некоторыми стабилизаторами). Стабилизатор мигрировал в каналы, благодаря этому проводимость триинга увеличивалась, и потенциал проводника переносился на концы триингов.

Важно указать на существенное различие водных и электрических триингов, которые хорошо известны на основании результатов испытаний твердых изоляционных материалов с использованием в качестве одного из электродов иглы. Электрические триинги зарождаются при относительно высоких напряженностях электрического поля и ЧР в изоляции. В результате образуются быстро развивающиеся каналы в виде полостей, которые способствуют электрическому пробою. В противоположность электрическим триингам ВТ зарождаются при напряженностях, близких к рабочим или даже ниже их. Поэтому они отличаются исключительно медленным ростом, продолжающимся в течение нескольких лет. В настоящее время предполагается, что ЧР в изоляции при наличии ВТ отсутствуют. Возможно, однако, что ЧР все-таки присутствуют, но их уровень незначителен.

Таким образом, для появления ВТ необходимо выполнение следующих условий:

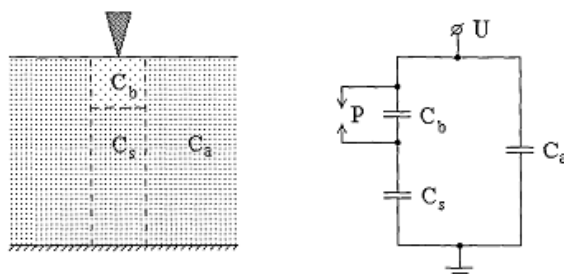
существование неоднородностей либо в полиэтилене (микрополостей, микрочастиц), либо на границе изоляции с проводниками (неровности, заусеницы);

присутствие в полиэтилене влаги (по достаточно 100 л/млн);  
наличие электрического поля.

Основной причиной целесообразности диагностики ВТ является то обстоятельство, что ВТ приводят к уменьшению электрической прочности изоляции. Приводится информация об электрической прочности кабеля с полиэтиленовой изоляцией, эксплуатирующегося в течение 8 лет при средней напряженности электрического поля 1.8 МВ/м. Испытание образцов этого кабеля показало, что электрическая прочность при переменном напряжении составила 6 МВ/м, а импульсная прочность - 12 МВ/м, тогда как для нового кабеля эти величины составляют соответственно 30 и 60 МВ/м.

Существенное влияние на снижение электрической прочности оказывает наличие в изоляции древовидных образований. При наличии триингов типа бант электрическая прочность практически не меняется. В лабораторных исследованиях кабеля с герметичной металлической оболочкой на напряжение 11 кВ, ранее проложенного через пролив Тромсесунд на севере Норвегии и эксплуатировавшегося там 10 лет, было обнаружено большое количество триингов типа бант, и совсем не было найдено древовидных триингов. Испытания переменным, постоянным и импульсным напряжением не выявили снижения электрической прочности. Следовательно, на электрическую прочность изоляции кабеля влияют только кустообразные триинги. Поэтому требуется диагностировать лишь этот тип ВТ.

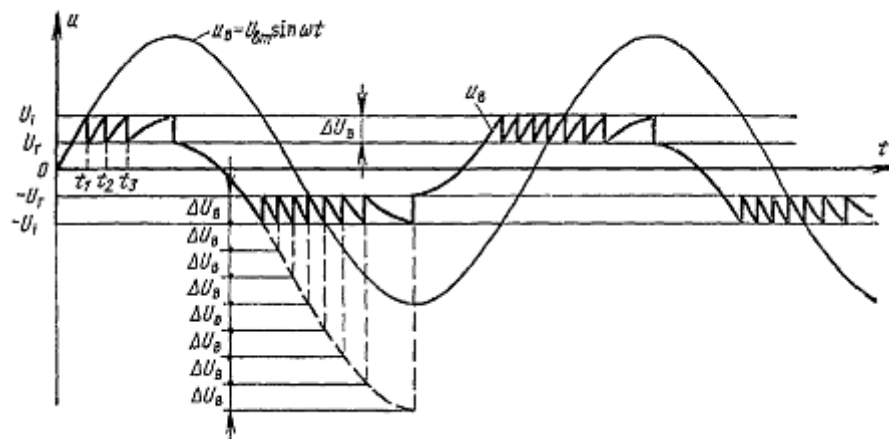
В диагностике мест неоднородностей КЛ одной из самых существенных задач является определение параметров неоднородности. Как показано выше, в случае наличия в изоляции ВТ оценка степени повреждения кабеля возможна лишь по изменению емкости кабеля. Эту задачу можно решить следующим образом. Местонахождение мест, содержащие повреждённые участки изоляции будет возможно непосредственно при трассировке кабельной линии.



**Рис.2. Эквивалентная схема изоляции, содержащая водные триинги, в которой происходит частичный разряд.  $C_b$  – пробиваемая часть диэлектрика,  $C_s$  – ёмкость части диэлектрика, расположенной последовательно с пробиваемой,  $C_a$  – ёмкость остальной части диэлектрика**

При трассировке кабельной линии активным методом через фильтр присоединения в кабельную линию подаётся синусообразное напряжение. Поскольку ёмкость кабельной линии на участке содержащем водные триинги отличается от участков с неповреждённой изоляцией, диаграмма напряжения искажается и становится несколько отличной от синусоидальной.

При отсутствии ЧР на участках напряжение синусоидально и равно  $U_b = U_{bm} \sin \omega t$ , где  $U_{bm} = U_b \cdot C_s / (C_s + C_b)$ , если  $U_{bm} > U_i$ , то будут происходить ЧР. ЧР зажигается, когда  $U_b$  достигает величины  $U_i$ . В результате разряда величина  $U_b$  падает до величины  $U_r$ , и ЧР прекращается.



**Рис.3. Изменение напряжения на пробиваемой частичными разрядами части диэлектрика**

Затем  $U_b$  нарастает по кривой  $U_b = U_{bm} \sin \omega t - \Delta U_b$ , где  $\Delta U_b = U_i - U_r$ , когда напряжение  $U_b$  на ёмкости  $C_b$  вновь достигнет значения  $U_i$ , происходит второй ЧР. После его завершения  $U_b$  возрастает по закону  $U_b = U_{bm} \sin \omega t - 2\Delta U_b$ . ЧР повторяются на участке через промежутки времени, соответствующие изменению напряжения на ёмкости  $C_b$  на величину  $\Delta U_b$ .

### Список литературы

1. Калкшер, Мюллер, Пешке, Хенкель, фон Ольсхаузен. Водные триинги в кабельной изоляции высокого напряжения из полиэтилена и сшитого полиэтилена. Кабели высокого напряжения: Переводы докладов Международной конференции по большим электрическим системам (СР1ГРЭ-82) / под ред. И.Б. Пешкова. М.: Энергоатомиздат, 1984. 104 с.
2. Болл, Холдап, Скиппер, Вевеллиу. Разработка кабелей высокого напряжения с изоляцией из сшитого полиэтилена. Кабели высокого напряжения; Электроизоляционные материалы: переводы докладов Между-

народной конференции по большим электрическим системам (СИГРЭ-84)/ под ред. И.Б. Пешкова, С.Г. Трубачева. М.: Энергоатомиздат, 1986. 168 с.

3. Вун,Стинис, Бентвелзен, Лаар. Разработка и результаты испытаний кабелей сверхвысокого напряжения с изоляцией из сшитого полиэтилена в Нидерландах. Кабели высокого напряжения; Электроизоляционные материалы: переводы докладов Международной конференции по большим электрическим системам (СИГРЭ-84)/ под ред. И.Б. Пешкова, С.Г. Трубачева. М.: Энергоатомиздат, 1986. - 168 с.

4. Холте,Бьерлев-Ларсен, Илдстад. Опыт использования высоковольтных кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена в Норвегии. Кабели высокого напряжения; Электроизоляционные материалы: переводы докладов Международной конференции по большим электрическим системам (СИГРЭ-84)/под ред. И.Б. Пешкова, С.Г. Трубачева. М.: Энергоатомиздат, 1986. 168 с.

5. Техника высоких напряжений / под ред. Д.В. Разевига. Изд. 2-е. М.: Энергия, 1976.

6. М.Ю. Шувалов, Ю.В. Образцов, В.Л. Овсиенко, П.Ю. Удовичкин, А.С. Мнека. Развитие водных триингов в экструдированной кабельной изоляции как электрический эффект Ребиндера. Ч. 1,2. «Наука и техника» №6 (301), 2006.

*Борисов Павел Андреевич, асп., [p.a.borisov-work@yandex.ru](mailto:p.a.borisov-work@yandex.ru), Россия, Тула, Тульский государственный университет*

**WATER TREEING AND THE PRINCIPLE OF DETERMINING THE SECTIONS OF THE CABLE LINE CONTAINING WATER TREEINGSTRACING CABLE LINES**

*P.A. Borisov*

*Considered the nature of water treeing in cable power lines, the reason of their education, as well as the principle of seeking sections of the cable line containing water treeings tracing cable lines.*

*Key words: water treeing, partial discharges, cable routing.*

*Borisov Pavel Andreevich, postgraduate, [p.a.borisov-work@yandex.ru](mailto:p.a.borisov-work@yandex.ru), Russia, Tula, Tula State University*

## ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СИСТЕМ ВЫБРОСА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ИМПУЛЬСНОГО КАССЕТНОГО ОГНЕТУШИТЕЛЯ

Н.М. Меркулов

*Приведен анализ системы выброса импульсного кассетного огнетушителя, математическая модель, описывающая работу импульсного кассетного огнетушителя, определены основные допущения.*

*Ключевые слова: импульсный кассетный огнетушитель, система выброса.*

Математическая модель, описывающая работу импульсного кассетного огнетушителя включает в себя два блока зависимостей: для расчета внутрибаллистических характеристик (ВБХ) ИКО и расчета скорости выброса вещества использованы следующие основные уравнения [1]:

уравнение сохранения энергии

$$\frac{dU_s}{dt} = \Pi_s G_s - \Pi_{ym} G_{ym} - P_k \cdot S_{mp} \cdot V_{os} - E \frac{dQ}{dt}$$

уравнение сохранения массы

$$\frac{dj_s}{dt} = G_s - G_{ym} ;$$

уравнение изменения давления в камере сгорания

$$P_k = (\kappa - 1) \cdot \frac{U_k}{W_k}$$

уравнение газоприхода от пиротехнического состава

$$G_s = \omega_3 \cdot \frac{d\psi_3}{dt} \cdot \xi \quad G_s = \omega_3 \cdot \frac{d\psi_3}{dt} \cdot \xi$$

уравнение для определения сгорания пиротехнического состава

$$\frac{d\psi_3}{dt} = \frac{\kappa_\phi \cdot \sigma_3 \cdot (\psi_3)}{e_{01}} \cdot u_1 \cdot P_k^\nu$$

уравнение изменения свободного объема камеры

$$W_k = W_0 - \frac{\omega_3 \cdot \psi_3}{\gamma_3} \cdot \xi + S_{mp} \cdot L_{ob}$$

уравнение для дельного прихода энергии

$$\Pi_3 = \frac{f v_3}{k_3 - 1} - 1$$

Представим основные допущения, принятые при расчете ВБХ:

1. процесс течения газа считается установившимся, адиабатическим, расчет проводится в нульмерной постановке;

2. тепловые потери в камере учитываются занижением силы пороха заряда;

3. воспламенение заряда принято мгновенным;

4. коволюмом газа пренебрегаем;

5. утечки из камеры сгорания отсутствуют.

Также примем следующие допущения для расчета скорости вытеснения огнетушащего вещества.

1. Для отсутствия дробления струи (как жидкого, так и порошкообразного вещества) необходимо непрерывно толкать всю массу вещества вплоть до момента покидания ствола последним слоем, прилегающим к поршню (рис.1).

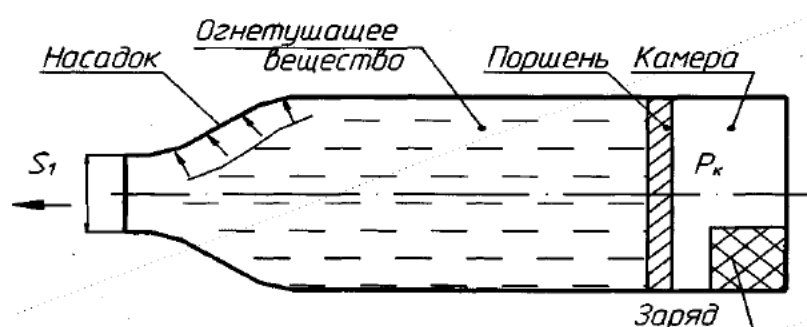


Рис.1. Расчетная схема

Для обеспечения максимальной дальности струи целесообразно обеспечивать  $W$  максимальный перепад давлений между сечениями 1 и 2, что реализуется в случае равенства статического давления в сечении 1 атмосферному давлению. С учетом принятых допущений уравнение для скорости вытеснения вещества запишется в виде:

$$\rho_{\text{ов}} \frac{dV_{\text{об}}}{dt} = P_k \cdot S_{\text{мп}} - K(L_{\text{нас}}) \cdot P_k \cdot S_{\text{мп}} + S_1$$

уравнение перемещения веществам

$$\frac{dL_{\text{ос}}}{dt} = V_{\text{ов}}$$

уравнение для изменения импульса динамической неуровновешенности

$$J_{\text{дн}} = \int_0^{t_0} F_{\text{дн}} \cdot dt$$

$$F_{\text{дн}} = -P_k \cdot S_{\text{мп}} + F_{\text{сопр}} + K(L) \cdot P_k \cdot (S_{\text{мп}} - S_1) - q_{\text{об}} \cdot V_{\text{д}}$$

По результатам расчета внутрибаллистических характеристик ИКО и скорости вытеснения по приведенной выше системе уравнений был проведен расчет ВБХ и скорости вытеснения вещества из ИКО с использованием вычислительной техники (ПК).

Ниже приведены значения основных параметров пиротехнического состава и конструкции ИКО МШЮ.010.

Основные данные по конструкции:

$T_{нач}=20^0$ -начальная температура;

$D_{тр}=67$  мм- внутренний диаметр трубы;

$L_{тр}=550$  мм- путь по трубе;

$q_{ов}=2$  кг-масса выбрасываемого вещества;

$W_0=20$  см<sup>3</sup>- начальный объем камеры;

$S_1$ -площадь отверстия для истечения в насадке;

$K(L_{нас})$ -коэффициент, учитывающий распределение давления по насадку;

$\varphi=1,2$ -коэффициент второстепенных работ.

Решение ряда вариантов прямой задачи по приведенным уравнениям позволило определить требуемую массу пиротехнического состава и основных ВВХ импульсного кассетного огнетушителя МШ. 00.010.

Зависимости  $P_k=f(\tau)$ ,  $L_{ов}=f(\tau)$ ,  $V_{ов}=f(\tau)$ ,  $J=f(\tau)$  приведены на рисунке 2.

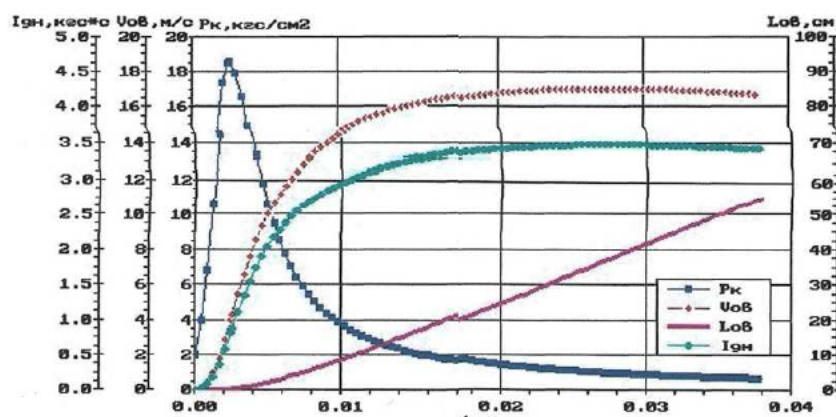


Рис.2. Изменение давления в камере, скорости выброса вещества, перемещения вещества, импульса неуравновешенности

### Список литературы

1. Гинзбург И. П. Прикладная гидрогазодинамика. Л.: Изд-во ЛГУ, 1958. 337 с.
2. Ричардсон Э. Динамика реальных жидкостей М.: Мир , 1965. 328 с.
3. Киселёв П.Г. Гидравлика: Основы механики жидкости М: Энергия , 1980. 360с.

Меркулов Николай Михайлович , канд. техн. наук, доц., Россия, Тула, Тульский государственный университет

PARAMETRICAL ANALYSIS OF SYSTEMS OF EMISSION AND DETERMINATION OF KEY PARAMETERS OF THE PULSE CASSETTE FIRE EXTINGUISHER

N.M. Merkulov

*The analysis of system of emission of the pulse cassette fire extinguisher, the mathematical model describing operation of the pulse cassette fire extinguisher is provided, the main assumptions are defined.*

*Key words: pulse cassette fire extinguisher, emission system.*

*Merkulov Nikolay Mikhaylovich, candidate of technical science, docent, Russia, Tula, Tula State University*

УДК 614.842.616

## **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ОТКЛОНЕНИЙ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПИРОТЕХНИЧЕСКОГО СОСТАВА И ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ НА ВНУТРИБАЛЛИСТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ИМПУЛЬСНОГО КАСЕТНОГО ОГНЕТУШИТЕЛЯ**

Н.М. Меркулов

*Рассмотрены способы влияния отклонений основных параметров пиротехнического состава на внутрибаллистические параметры импульсного касетного огнетушителя, приведены результаты соответствующих влияний в виде зависимостей.*

*Ключевые слова: внутрибаллистические параметры импульсный касетный огнетушитель.*

По разработанной системе уравнений проведена оценка влияния массы  $m_3$  и марки (свода горения  $e_1$ ) пиротехнической навески, массы огнетушащего вещества  $q_{ов}$ , начального объема камеры  $W_0$ , силы сопротивления при вытеснении жидкости  $R_{сопр}$ , на ВБХ: максимальное давление в камере сгорания, скорость и время выброса, импульс динамической неуравновешенности.[1]

Результаты расчетов, проведенных при температуре 20°C, приведены в таблице 1 и на рис.1- 9

Примечание:

во всех рассмотренных вариантах;

тепловые потери учитываются занижением силы пороха состава ДРП;

влиянием утечек между поршнем и трубой пренебрегаем.

Анализируя результаты проведенных расчетов по оценке влияния изменения параметров навески пиротехнического состава и элементов конструкции на ВБХ ИКО, можно сделать следующие выводы:

при уменьшении  $\omega_3$  до 1г сильно падает скорость вытекания вещества (рис. 1), что неприемлемо;

### Исследуемые параметры

| Исследуемый параметр                  | $q_{ов}$<br>кг | $W_0$<br>см <sup>3</sup> | $m_3$<br>г | Марка состава<br>( $\epsilon_1$ , мм) | Сила сопротивления,<br>$R_{сопр}$ , кгс | $P_{max}$<br>$\frac{кгс \cdot с}{см^2}$ | $V_{дв}$<br>$\frac{м}{с}$ | $\tau_{дв}$<br>с | $J_{дн}$<br>кгс $\cdot$ с | $N_0$<br>Рис |
|---------------------------------------|----------------|--------------------------|------------|---------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------|------------------|---------------------------|--------------|
| Исходный вариант                      | 2,0            | 20                       | 1,5        | ДРП-2<br>(0,5)                        | 10 $\rightarrow$ 5                      | 19,0                                    | 17,0                      | 0,038            | -3,5                      | 3.2          |
| Масса пиротехнического состава        | //             | //                       | 1,0        | //                                    | //                                      | 11,5                                    | 11,0                      | 0,054            | -2,5                      | 3.3          |
|                                       | //             | //                       | 2,0        | //                                    | //                                      | 27,0                                    | 22,0                      | 0,031            | -4,5                      | 3.4          |
| Марка ДРП (свод горения)              | //             | //                       | 1,5        | ДРП-3<br>(0,3)                        | //                                      | 33,0                                    | 22,0                      | 0,029            | -4,6                      | 3.5          |
|                                       | //             | //                       | //         | ДРП-1<br>(1,2)                        | //                                      | 7,4                                     | 8,8                       | 0,065            | -1,8                      | 3.6          |
| Начальный объем камеры                | //             | 15                       | //         | ДРП-2<br>(0,5)                        | //                                      | 23                                      | 17,0                      | 0,037            | -3,5                      | 3.7          |
|                                       | //             | 100                      | //         | //                                    | //                                      | 7,0                                     | 15,5                      | 0,048            | -3,2                      | 3.8          |
| Масса выбрасываемого вещества         | 2,1            | 20                       | //         | //                                    | //                                      | 19,2                                    | 17,0                      | 0,0382           | -3,6                      | 3.9          |
|                                       | 1,96           | //                       | //         | //                                    | //                                      | 18,0                                    | 17,3                      | 0,038            | -3,35                     | 3.10         |
| Сила сопротивления<br>$R_{сопр}=f(L)$ | 2,0            | //                       | //         | //                                    | 45 $\rightarrow$ 20                     | 19,5                                    | 14,5                      | 0,0425           | -3,0                      | 3.11         |

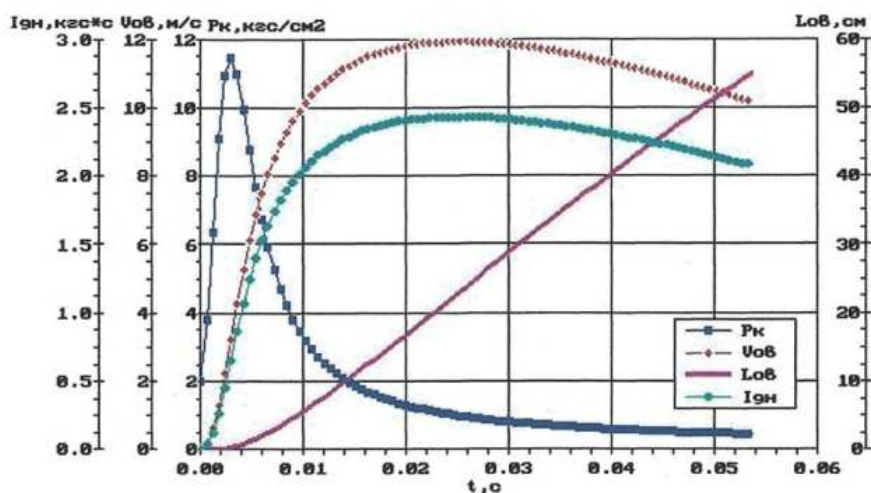
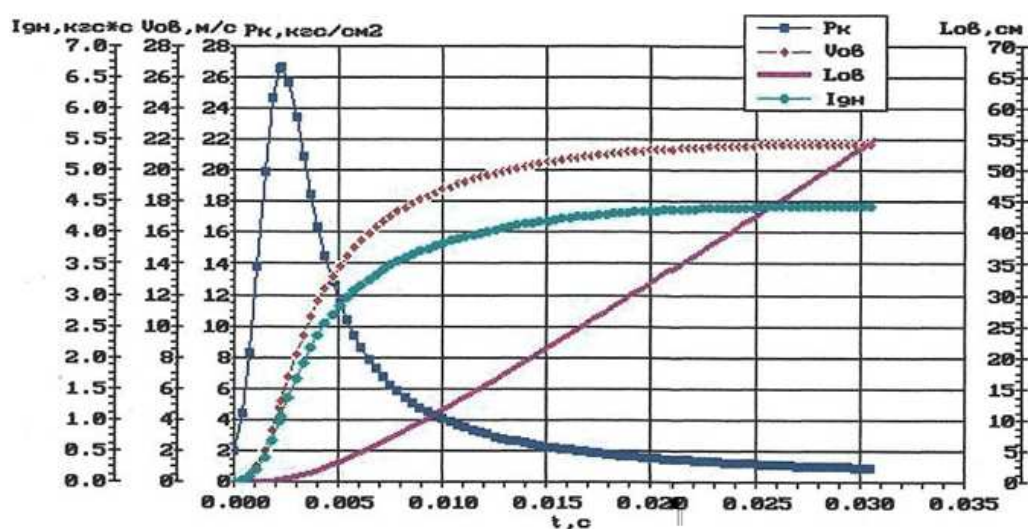


Рис. 1. Изменение давления в камере, скорости выброса вещества, перемещения вещества, импульса неуравновешенности

при увеличении  $\omega_3$  до 2 г скорость вытекания вещества увеличивается (рис.1), но при этом  $J_{дн} = -4,5$  кгс $\cdot$ с превышает заданное значение и значительно увеличивается максимальное давление, что также неприемлемо (рис.2).

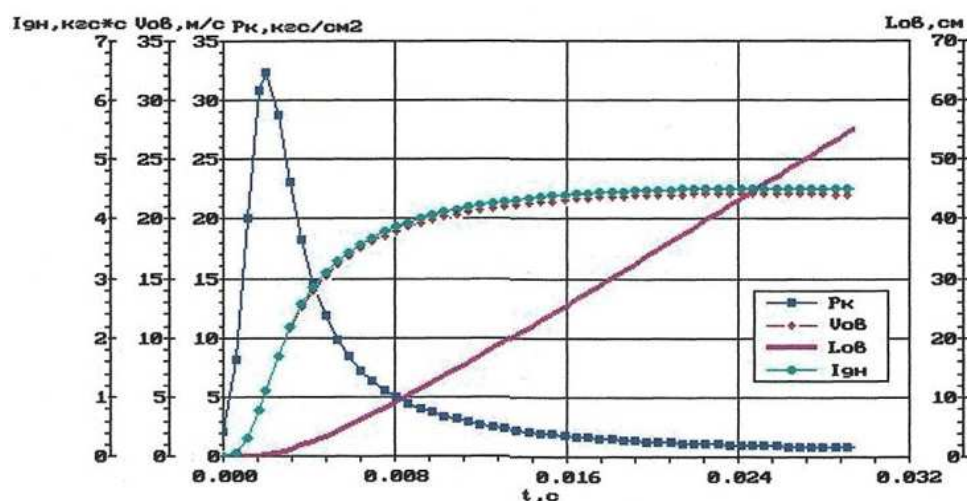


**Рис. 2. Изменение давления в камере, скорости выброса вещества, перемещения вещества, импульса неуравновешенности**

Следовательно, навеска из ДРП-2 массой 1,5 г является оптимальной.

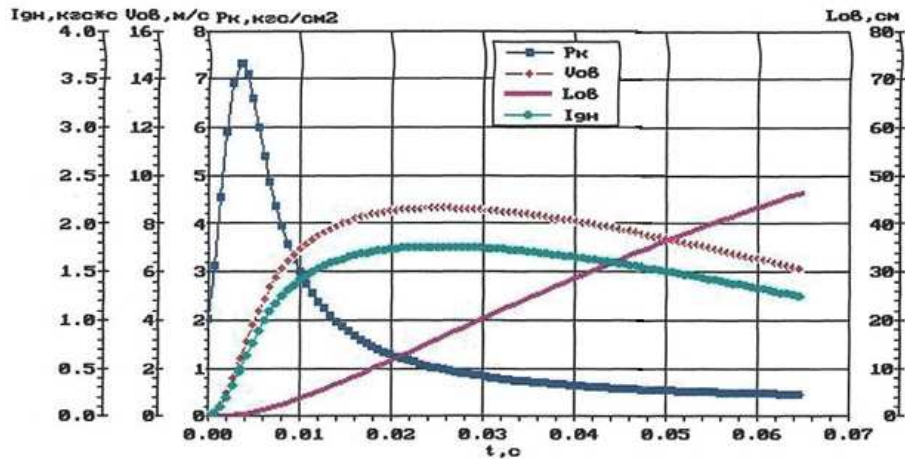
Изменение свода горения (марки состава ДРП) так же оказывает существенное влияние на ВБХГ

при изменении ДРП-3 (свод горения уменьшается до 0,3 мм) значительно возрастает  $V_d$ , но при этом  $J_{он} = -4,5 \text{ кгс} \cdot \text{с}$  значительно превышает заданное значение и сильно растет максимальное давление, (рис.3)



**Рис. 3. Изменение явления в камере, скорости выброса вещества, перемещения вещества, импульса неуравновешенности**

при применении ДРП-1 (свод горения увеличивается до 1,2 мм) давление низкое, порох не догорает, сильно падает скорость вытекания (рис.4)

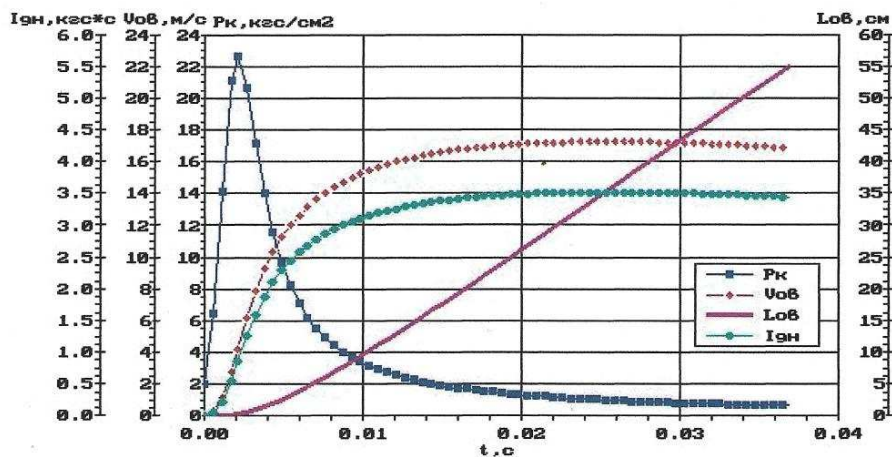


**Рис.4** Изменение явления в камере, скорости выброса вещества, перемещения вещества, импульса неуравновешенности

Следовательно, оптимальным является применение состава ДРП-2.

Изменение начального свободного объема камеры:

При уменьшении начального свободного объема камеры на 25% при росте максимального давления скорость вытекания вещества и импульс динамической неуравновешенности практически не изменяются (рис.3.7)



**Рис.5.** Изменение давления в камере, скорости выброса вещества, перемещения вещества, импульса неуравновешенности

Значительное увеличение объема (до  $100 \text{ см}^3$ ) приводит к сильному падению  $P_{\text{тн}}$  при этом скорость вытеснения вещества нарастает медленнее и уменьшается, а  $J_m$  уменьшается незначительно (рис.3.8)

Следовательно, оптимальным является значение начального объема камеры  $W_0 = 20 \pm 5 \text{ см}^3$  3.4.4. Изменение массы выбрасываемого вещества оценивалось в пределах  $\pm 0,1 \text{ кг} (\pm 5\%)$ .

Расчет показал, что при таком отклонении значение  $P_{\text{max}}$ ,  $V_d$ ,  $J_{\text{дн}}$  изменяются очень мало (рис.7, рис.8)

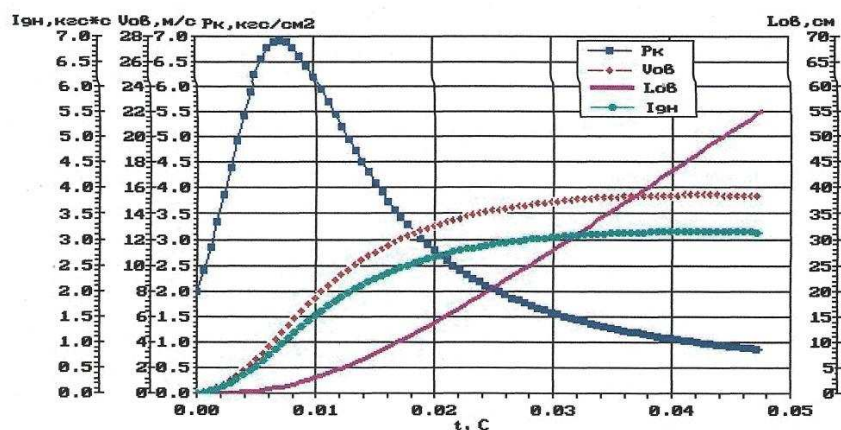


Рис.6. Изменение давления в камере, скорости выброса вещества, перемещения вещества, импульса неуравновешенности

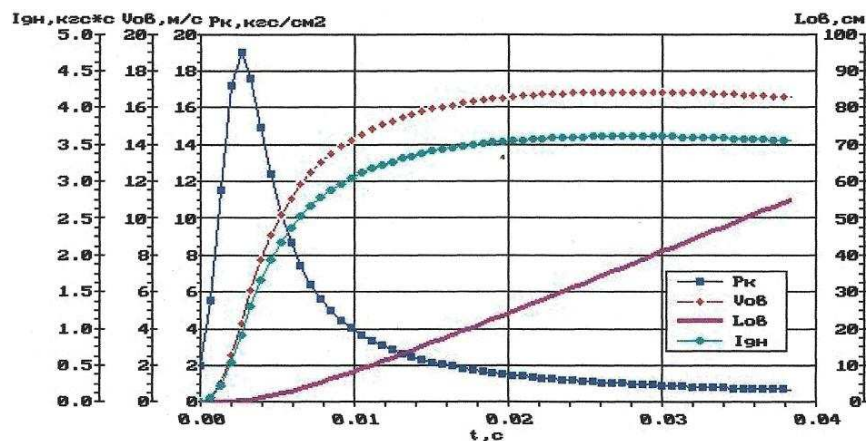


Рис.7. Изменение давления в камере, скорости выброса вещества, перемещения вещества, импульса неуравновешенности

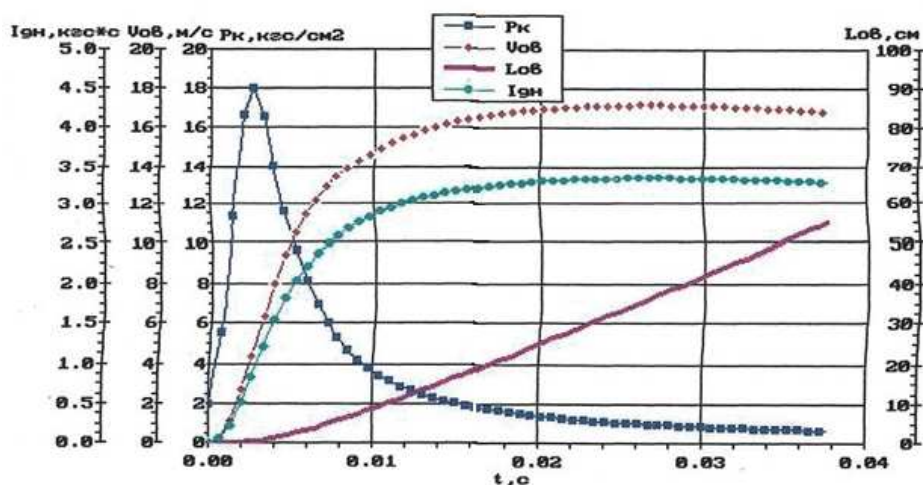
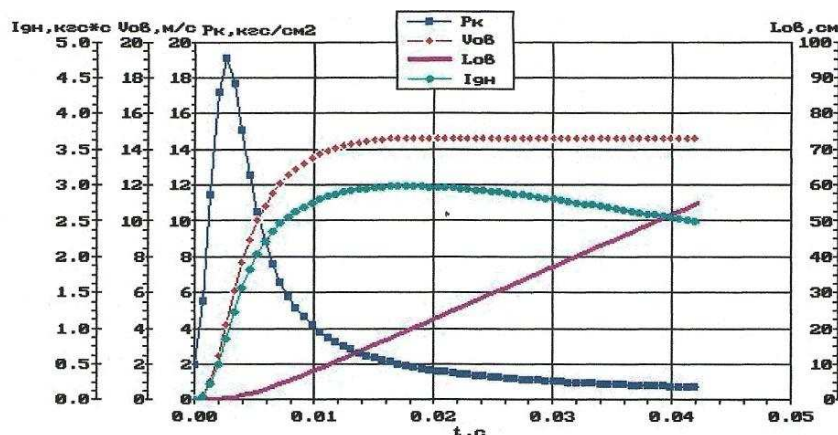


Рис.8. Изменение давления в камере, скорости выброса вещества, перемещения вещества, импульса неуравновешенности

### Влияние силы сопротивления при выталкивании вещества

При увеличении силы сопротивления, переменной по длине трубы, с  $10 \rightarrow 5 \text{ кгс}$  до  $45 \rightarrow 20 \text{ кгс}$  немного увеличивается  $P_{\max}$  при одновременном падении  $U_d$  и  $J_{\text{дн}}$  (рис.9)



**Рис.9. Изменение давления в камере, скорости выброса вещества, перемещения вещества, импульса неуравновешенности**

### Список литературы

1. Гинзбург И. П. Прикладная гидрогазодинамика. Л.: Изд-во ЛГУ, 1958. 337 с.
2. Ричардсон Э. Динамика реальных жидкостей М.: Мир , 1965. 328 с.
3. Киселёв П.Г. Гидравлика: Основы механики жидкости М: Энергия, 1980. 360 с.

*Меркулов Николай Михайлович, канд. техн. наук, доц., Россия, Тула, Тульский государственный университет*

### ASSESSMENT OF INFLUENCE OF DEVIATIONS OF KEY PARAMETERS OF PYROTECHNIC STRUCTURE AND DESIGN ELEMENTS ON INTRA BALLISTIC PARAMETERS OF THE PULSE CASSETTE FIRE EXTINGUISHER

*N. M. Merkulov*

*Ways of influence of deviations of key parameters of pyrotechnic structure on intra ballistic parameters of the pulse cassette fire extinguisher are considered, results of the corresponding influences in the form of dependences are given.*

*Key words: intra ballistic parameters pulse cassette fire extinguisher.*

*Merkulov Nikolay Mikhaylovich, candidate of technical science, docent, Russia, Tula, Tula State University*

УДК 614.842.616

## РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ОПЫТНЫХ ОБРАЗЦОВ ИМПУЛЬСНОГО КАСЕТНОГО ОГНЕТУШИТЕЛЯ

Н.М. Меркулов

*Приведены и описаны конструкции разработанных опытных образцов импульсного касетного огнетушителя.*

*Ключевые слова: конструкции, опытный образец.*

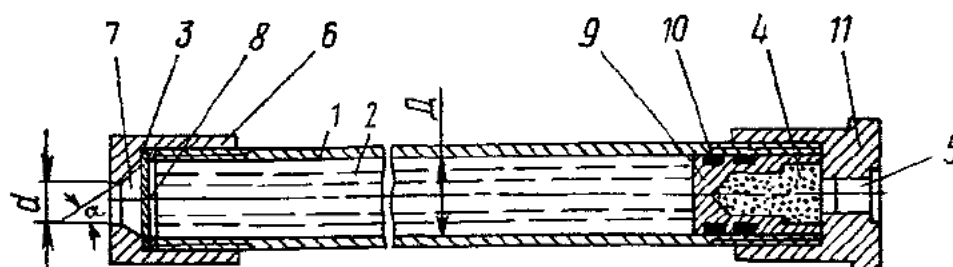
Конструкция опытных образцов и принципы действия опытных образцов КМ.ЖС. 00.030; РШ. 00.010; МШ. 00.010, таблица 1

Таблица 1

### Конструкция опытных образцов

| Параметр                                       | Параметры образца |            |            |
|------------------------------------------------|-------------------|------------|------------|
|                                                | КМ.ЖС. 00.030     | РШ. 00.010 | МШ. 00.010 |
| Внутренний диаметр трубы $D_{тр}$ , мм         | 14                | 36         | 67         |
| Длина трубы $L_{тр}$ , мм                      | 300               | 250        | 550        |
| Масса выбрасываемого вещества, кг              | 0,05              | 0,25       | 2,00       |
| Начальный объем камеры $W_0$ , см <sup>3</sup> | 5                 | 10         | 20         |
| Марка топлива КМ.ЖС. 00.030                    | ДРП-2             | ДРП-2      | ДРП-2      |
| Масса заряда $Q_3$ , г                         | 0,04              | 1,0        | 1,5        |
| Диаметр дроссельного отверстия                 | 8,0               | 25,0       | 20,0       |

Общий вид опытного образца устройства КМ.ЖС. 00.030 приведен на рис. 1



**Рис. 1** Общий вид образца устройства КМ.ЖС. 00.030:

1 – труба, 2 – активное вещества (АВ), 5 – капсуля-воспламенителя (КВ),  
11 – дно, 9 – поршень, 4 – пиротехнический заряд (ПЗ), 3,  
10 – обтирирующие кольца, 7 – насадка с формирователем струи  
с соплом, 8 – мембрана

При инициировании КВ воспламеняется заряд ПЗ, поршень под воздействием пороховых газов движется в сторону насадка 7, в насадке формируется факел распыла АВ.[1]

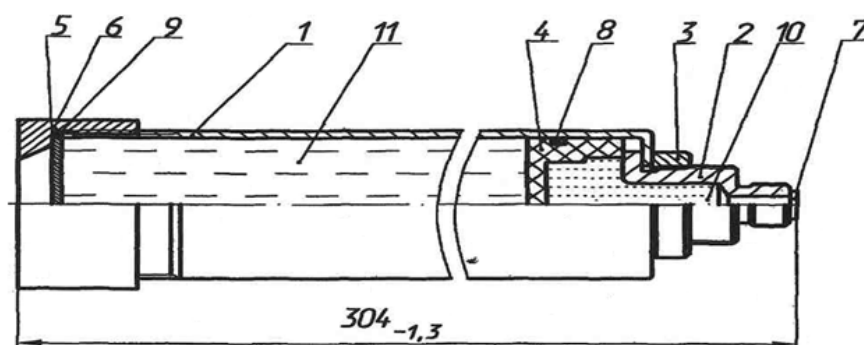
По разработанным рабочим чертежам (Приложение А) были изготовлены отдельные механические части опытного образца устройства.

На рис. 2 приведено изготовленное устройство КМ.ЖС.00.030 в сборе и в разобранном виде.



**Рис. 2 Устройство КМ.ЖС.00.030 в сборе и в разобранном виде**

Общий вид опытного образца устройства РШ. 00.010 приведен на рис. 3



**Рис. 3. Общий вид образца устройства РШ.00.010:**

**1 – труба, 11 – активное вещество, 7 – капсуля воспламенителя (КВ),  
2 – переходник, 3 – гайка, 4 – поршень, 5 – мембрана, 6 – втулка, 8,  
9 – т. обтирющие кольца, 10 – пороховой заряд**

При инициировании КВ, воспламеняется ПЗ, поршень под воздействием пороховых газов движется в сторону втулки 6, в которой формируется факел распыла АВ.

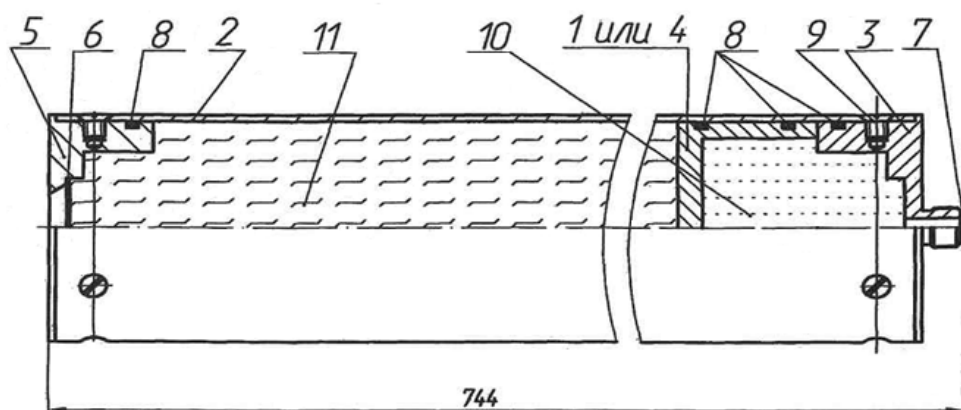
По разработанным чертежам (Приложение Б) изготовлены механические части опытного образца устройства РШ.00.010. На рис. 4 приведено устройст-

во в собранном и разобранном виде



**Рис. 4. Устройство в собранном и разобранном виде**

Общий вид образца устройства МШ. 00.010 приведен на рис. 5



**Рис.5. Общий вид опытного образца устройства МШ. 00.010:  
2 – труба, 3 – втулка, 4 – поршень (допускается вкладыш МШ. 01.030),  
5 – насадка, 7 – капсуль воспламенителя 7, 8 – обтирающие кольца,  
10 – ПЗ, 11 – активные вещества**

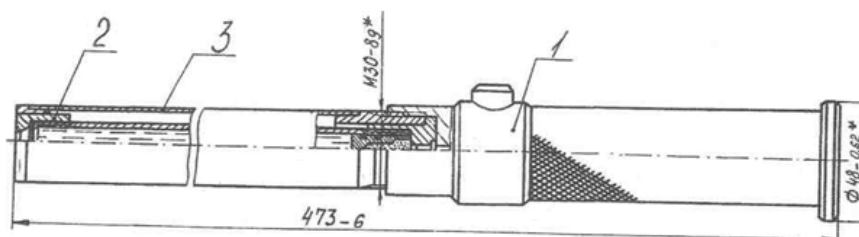
При иницировании КВ воспламеняется ПЗ 10, поршень под воздействием пороховых газов движется в сторону насадки 5, в которой формируется факел распыла уставного вещества 11.

На рис. 6 приведено устройство МШ. 00.010 в собранном и разобранном виде.

Конструкция стендового приспособления для испытания опытного образца КМ.ЖС .00.030. На рис. 7 приведен общий вид стендового приспособления для испытаний устройства с ударно спусковым механизмом 1 и защитной трубки 3.



**Рис. 6. Устройство МШ.00.010 в собранном и разобранном виде**



**Рис.7. Вид стендового приспособления для испытания опытного устройства**

Защитная трубка, в которой закреплено устройство, с помощью резьбы соединена с ударно-спусковым механизмом (УСМ).

Защитная трубка предохраняет устройство от возможных форс-мажорных обстоятельств при испытаниях. Ударно-спусковой механизм взводится при вытягивании фланца трубки. Поворачиванием фланца вокруг оси на  $90^\circ$ , УСМ ставится на предохранитель, при этом выскакивает и стопорится спусковая кнопка. После снятия с предохранителя, посредством обратного поворачивания фланца и нажатия на спусковую кнопку, происходит срабатывание устройства.

На рис. 8 представлены опытный образец устройства, защитная трубка и ударно-спусковой механизм. На защитную трубку может одеваться транспортировочный чехол.



**Рис. 8 Опытный образец, защитная трубка и УСМ**

Описанный ранее образец опытного устройства и стендовое приспособление предназначено для отработки устройства с массой АВ 0,25 кг.

### **Список литературы**

1. Гинзбург И. П. Прикладная гидрогазодинамика. Л.: Изд-во ЛГУ, 1958. 337 с.
2. Ричардсон Э. Динамика реальных жидкостей М.: Мир , 1965. 328 с.
3. Киселёв П.Г. Гидравлика: Основы механики жидкости М.: Энергия, 1980. 360с.

*Меркулов Николай Михайлович, канд. техн. наук, доц., Россия, Тула, Тульский государственный университет*

#### **DEVELOPMENT OF THE DESIGN OF PROTOTYPES OF THE PULSE CASSETTE FIRE EXTINGUISHER**

*N.M. Merkulov*

*Designs of the developed prototypes of the pulse cassette fire extinguisher are provided and described.*

*Key words: designs, prototype.*

*Merkulov Nikolay Mikhaylovich, candidate of technical science, docent, Russia, Tula, Tula State University*

## **ПОДГОТОВКА И ПЕРЕПОДГОТОВКА ИНЖЕНЕРНЫХ И НАУЧНЫХ КАДРОВ**

УДК 621.311.018.782.3

### **ОБЪЯСНИТЕЛЬНО-ИЛЛЮСТРАТИВНЫЙ И РЕПРОДУКТИВНЫЕ МЕТОДЫ ОБУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН**

Ю.И. Горелов

*Рассмотрены вопросы использования в процессе обучения электротехническим дисциплинам объяснительно-иллюстративного и репродуктивного методов.*

*Ключевые слова: электротехнические дисциплины, обучение, объяснительно-иллюстративный метод, репродуктивный метод.*

Объяснительно-иллюстративный метод заключается в том, что преподаватель передает учащимся готовую информацию с помощью различных средств обучения, а учащийся воспринимает, осознает и фиксирует в памяти эту информацию. Роль преподавателя состоит в организации восприятия информации или способов действия, а студент должен воспринять и понять сообщенную ему информацию или способ действия, и сумет связать их со своими представлениями и знаниями.

Сообщение информации преподаватель осуществляет с помощью устного слова (лекция), печатного слова (учебник, методическое пособие), наглядных средств (презентации, видео-материалы, плакаты), практического показа способов деятельности (лабораторные и семинарские занятия).

Объяснительно-иллюстративный метод – один из наиболее эффективных и экономных методов передачи знаний, поэтому он завоевал себе прочное место в учебных заведениях всех стран. Вместе с тем, использование только этого метода в процессе обучения студентов предполагает только осознания, восприятия и запоминания переданной информации, что противоречит современным концепциям обучения, воспитания и развития учащихся..

Обычно объяснительно-иллюстративный метод используется при изучении новой темы, когда у них полностью отсутствуют знания, необходимые для усвоения материала. Задача преподавателя заключается в определении способов формирования знаний – путем словесного изложения

или организации наглядного восприятия. Например при изучении темы «Переходные процессы в синхронной машине» наиболее приемлемым является показ медиа презентации, иллюстрирующей на наглядном уровне формируемые статорными и роторными обмотками магнитные поля, а затем переходить к словесному объяснению способов их математического описания с использованием теории электромагнетизма.

Репродуктивный метод обучения используется для формирования знаний у бакалавров по образцу или в несколько измененных, но опознаваемых ситуациях. Преподаватель с помощью системы заданий организует деятельность учащихся по воспроизведению сообщенных им знаний или показанных способов деятельности. Обычно этот метод используется при организации лабораторных и практических занятий, выполнение которых основано на использовании учащимися достаточно подробных инструкций их выполнения.

*Горелов Юрий Иосифович, канд. техн. наук, доц., [gor\\_tula@rambler.ru](mailto:gor_tula@rambler.ru), Россия, Тула, Тульский государственный университет*

**EXPLANATORY-ILLUSTRATIVE AND REPRODUCTIVE METHODS OF  
TRAINING OF ELECTROTECHNICAL DISCIPLINES**

*Y.I. Gorelov*

*Questions of use in the course of training to electro technical disciplines of explanatory-illustrative and reproductive methods are considered.*

*Key words: electro technical disciplines, training, an explanatory-illustrative method, a reproductive method.*

*Gorelov Yury Iosifovich, candidate of technical science, docent, [gor\\_tula@rambler.ru](mailto:gor_tula@rambler.ru), Russia, Tula, Tula State University*

УДК 621.311.018.782.3

## **МЕТОДИКА ПРЕПОДАВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММ СХЕМОТЕХНИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Ю.И. Горелов

*Рассмотрены вопросы использования в процессе обучения электротехническим дисциплинам виртуальных лабораторных работ. Предложено для повышения качества обучения использовать реальные лабораторные работы, основанные на использовании программ схемотехнического моделирования.*

*Ключевые слова: электротехнические дисциплины, обучение, виртуальные и реальные лабораторные работы.*

Современные требования к качеству профессиональной подготовки бакалавров и магистров в системе высшего образования, недостаток времени на полное и высококачественное усвоение основных положений электротехнических дисциплин, отводимое государственными стандартами, обуславливают необходимость внедрения в учебный процесс современных методик обучения, основанных на информационных и компьютерных технологиях.

В настоящее время компьютерные технологии активно применяются в курсах электротехнических дисциплин, таких как ТОЭ, Переходные процессы в электроэнергетике, в виде виртуальных лабораторных работ, которые выполняются студентами в компьютерных классах, либо в домашних условиях. При этом в основе виртуальных лабораторных работ лежат программы электротехнического моделирования, такие как Electronics Workbench, Circuit Maker, VisSim, MultiSim, Mat lab.

Расширяя возможности традиционных методов обучения, программы схемотехнического моделирования аналоговых, аналогово-цифровых и цифровых цепей позволяют в процессе выполнения виртуальной лабораторной работы составить эквивалентную схему замещения изучаемого электротехнического устройства, используя библиотеку элементарных электротехнических модулей, провести моделирование практически любой электронной или электрической схемы, достаточно просто провести изменение номинальных значений элементов схемы с проверкой ее работоспособности, получить на экране осциллограммы во времени любой электрофизической величины в любой точке исследуемой схемы замещения, провести математическую обработку полученных осциллограмм. Это позволяет обратить внимание обучающихся на характерные режимы работы изучаемых электротехнических устройств, показать им пределы нормального или аномального функционирования электротехнического устройства.

Вместе с тем использование в процессе обучения только виртуаль-

ных компьютерных лабораторных работ может отрицательно сказаться на качестве обучения студентов-электротехников. Поэтому одной из актуальных задач обучения студентов электротехнических специальностей является проведение части лабораторных работ в виде реальных исследований, когда изучается конкретное электротехническое устройство, либо его физический аналог, сконструированный в соответствии с положениями теории подобия. При этом компьютер с использованием плат сопряжения может быть использован как генератор сигналов необходимого вида и номинала или как приемник, обработчик, анализатор и устройство визуального отображения, что возможно путем использования современного математического обеспечения, например, программы электротехнического моделирования SimPowerSystem системы Matlab.

*Горелов Юрий Иосифович, канд. техн. наук, доц., [gor\\_tula@rambler.ru](mailto:gor_tula@rambler.ru), Россия, Тула, Тульский государственный университет*

*TEACHING METHODOLOGY OF ELECTROPOWER DISCIPLINES WITH USE OF  
CIRCUIT SIMULATION PROGRAMS*

*Y.I.Gorelov*

*Questions of use in the course of training to electro technical disciplines of virtual laboratory works are considered. It is offered to use the real laboratory works based on use circuit simulation programs for training improvement of quality.*

*Key words: Electrotechnical disciplines, training, virtual and real laboratory works.*

*Gorelov Yury Iosifovich, candidate of technical science, docent, [gor\\_tula@rambler.ru](mailto:gor_tula@rambler.ru), Russia, Tula, Tula State University*

## **СТРУКТУРА ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЮ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ**

В.М. Степанов

*Рассмотрена структура образовательного процесса по энергосбережению и энергоэффективности.*

*Ключевые слова: образование, услуги, энергия, сбережение, эффективность, целостность, цельность, комплектка, спрос, рейтинг, предложение, образовательные, программы.*

В соответствии с Государственной программой Российской Федерации «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года» к концу 2020 года энергоемкость валового внутреннего продукта (ВВП) должна снизиться на 13,5 процента; для кадрового обеспечения реализации Государственной программы в 2011 - 2020 годах будет обучено не менее 450 тысяч специалистов по вопросам повышения эффективности использования энергии.

Кадровое обеспечение повышения эффективности использования энергии невозможно без значительного количества высококвалифицированных специалистов для таких видов деятельности, как энергетическое обследование и энергоаудит, энергоменеджмент, энергосервис, разработка и внедрение возобновляемых источников энергии, разработка, внедрение энергосберегающих и энергоэффективных мероприятий по системам тепло-, водо-, электроснабжения, системам кондиционирования и вентиляции и т.п. [1, 2, 3].

Для кадрового обеспечения реализации данной Государственной программы необходимо создать единство образовательных программ по всем направлениям повышения эффективности использования энергии. В связи с этим важен мониторинг рынка образовательных услуг в области повышения эффективности использования энергии, выявление проблем, связанных с предоставлением и потреблением образовательных услуг, формирование предложений, постановка задач, разработка и реализация методик для решения комплекса выявленных проблем.

Подпрограммой «Методическое, информационное и кадровое обеспечение мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности» указанной Государственной программы предусмотрена следующая структура образовательного процесса по энергосбережению и энергоэффективности:

- «проведение обучения специалистов органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации, органов местного самоуправления,

организаций с участием представителей государства и муниципальных образований, ответственных за энергосбережение и повышение энергетической эффективности, и специалистов других организаций по вопросам повышения эффективности использования энергии»;

- «содействие формированию бережливой модели поведения населения, включая создание набора инструментов для информирования граждан о возможных типовых решениях по энергосбережению и повышению энергетической эффективности».

- обучение студентов ВУЗов, учащихся колледжей и школ по вопросам повышения эффективности использования энергии;

- специалисты органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации, органов местного самоуправления, организаций с участием представителей государства и муниципальных образований, ответственных за энергосбережение и повышение энергетической эффективности, и специалисты других организаций по вопросам повышения эффективности использования энергии;

- население;

- учащиеся школ, колледжей;

- студенты ВУЗов;

- преподавательский состав школ, колледжей, ВУЗов.

В сфере энергосбережения и энергоэффективности спрос на образовательные услуги многократно превышает предложение практически по всем федеральным округам.

В 2013 году Министерством образования и науки Российской Федерации и Центром комплексной энергоэффективности и энергосбережения ФГБУ ИПК Минобрнауки России была проделана большая работа по внедрению энергосбережения и повышению энергоэффективности образовательных учреждений.

В конце 2012 года был разработан Ведомственный стандарт администрирования процессов и структур создания и развития энергоменеджмента для повышения энергоэффективности системы профессионального образования Российской Федерации. Он объединил лучшее, что может предложить система энергетического менеджмента по международному стандарту ISO 50001, с учетом российского законодательства. В нем отражены приоритеты в реализации деятельности по повышению энергоэффективности образовательных учреждений.

На основе Ведомственного стандарта в каждой подведомственной организации должна быть сформирована система энергоменеджмента, то есть единого процесса управления энергосбережением. Энергоменеджмент включает в себя разработку политики энергосбережения для образовательного учреждения, назначение лица, ответственного за энергосбережение, определение энергетической базовой линии, проведение регулярных энергетических обследований, формирование программ по энергосбережению,

их реализацию и систему контроля. Структура функционирования системы управления энергосбережением позволяет контролировать и корректировать процесс на каждом этапе его реализации.

Важнейшим элементом структуры стало создание сети Комплексных центров обучения в области энергосбережения при поддержке ведущих производителей энергоэффективного оборудования на базе ведущих вузов России. Их основной задачей является объединение возможностей образования, науки и производства. Кроме того, они позволяют успешно решать вопросы профориентации студентов и их трудоустройства по специальности.

На сегодняшний день в России уже создано 8 Комплексных центров, расположенных во всех федеральных округах. Центр комплексной энергоэффективности и энергосбережения ФГБУ ИПК Минобрнауки России является головным предприятием и реализует общее руководство. Создание такой сети позволит реализовывать работы по единым стандартам и обогащать деятельность Центров методическими и техническими разработками.

Участие поставщиков энергоэффективной продукции даст возможность Комплексным центрам самостоятельно проводить энергетические обследования, реализовывать энергосервисные контракты, а также осуществлять дилерскую деятельность. Это позволит не только получать дополнительные средства для дальнейшего развития, но и готовить специалистов-практиков, востребованных на современных предприятиях.

2013 год стал завершающим для многих проектов в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности, осуществленных в рамках реализации мероприятия «Распространение во всех субъектах Российской Федерации современных проектов энергосбережения в образовательных учреждениях» Федеральной целевой программы развития образования на 2011-2015 годы».

Минобрнауки России и Центр комплексной энергоэффективности и энергосбережения активно выявляют и поддерживают инновационные технологические и гуманитарные разработки молодых ученых в области энергосбережения. В 2012-2013 гг. был проведен Конкурс лучших предложений в сфере энергосбережения и энергоэффективности среди студентов и аспирантов с помощью информационно-коммуникационных технологий «Энергоидея».

Всего на Конкурс поступило 323 заявки от ребят из более 150 вузов более 60 городов страны. Свыше 80 призеров конкурса получили в качестве награды стажировки в подразделениях ведущих энергетических компаний 20 крупных городов России. Еще 20 человек совершили ознакомительные поездки за границу в известные компании и корпорации США, Франции, Казахстана и других стран. По результатам стажировок ряд номинантов получили предложения воплотить свои проекты в жизнь, а не-

сколько студентов были трудоустроены на предприятиях.

Основной задачей структуры реализации Программы распространения современных проектов энергосбережения являются следующие мероприятия:

1. Организовать систему информационного взаимодействия подведомственных организаций по вопросам энергосбережения и повышения энергоэффективности.
2. Расширить перечень реализуемых проектов в области энергосбережения и повышения энергоэффективности.
3. Разработать единый механизм реализации энергосервисных контрактов в подведомственных организациях.
4. Стимулировать подготовку ВУЗами специалистов в области энергосбережения и повышения энергоэффективности.
5. Активно внедрять ведомственный стандарт администрирования процессов повышения энергоэффективности.

### **Список литературы**

1. Степанов В.М., Косырихин В.С. Подготовка и переподготовка инженерных и научных кадров в области энергоресурсосбережения ТулГУ. Технические науки. Вып. 6. Ч. 1. Тула: Изд-во ТулГУ, 2011. 291 с.
2. Фролов В.В., Нурахов Н.Н. Подготовка и переподготовка учебных и научных кадров Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 12. Ч. 3. Тула: Изд-во ТулГУ, 2012. 299 с.
3. Фролов В.В. Энергоэффективность 2013: тенденции и приоритеты. Вестник «Энергоэффективности», 2013, № 3.

*Степанов Владимир Михайлович, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой, директор УТЦ «Энергоэффективность», Россия, Тула, Тульский государственный университет*

### **FRAMEWORK OF THE EDUCATIONAL PROCESS ENERGY SAVING AND ENERGY EFFICIENCY**

*V.M. Stepanov*

*The structure of the educational process on energy saving and energy efficiency.*

*Key words: education, services, energy, conservation, efficiency, integrity, integrity, комплектка, demand, rating, offer educational programs.*

*Stepanov Vladimir Mikhailovich, doctor of technical science, professor, head the department, director of the training center «Energy efficiency», Russia, Tula, Tula state University*

## О ФОРМИРОВАНИИ РЕГИОНАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ОБУЧЕНИЯ ПО ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЮ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ

В.М. Степанов

*Выделены основные направления формирования региональной модели обучения по энергосбережению и энергоэффективности.*

*Ключевые слова: образование, услуги, энергия, сбережение, эффективность, целостность, цельность, комплектка, спрос, рейтинг, предложение, образовательные, программы.*

Формирование региональной модели обучения по энергосбережению и энергоэффективности должно учитывать следующие направления: [1,2]

**1. Анализ соответствия квалификации выпускников ФГОУ требованиям работодателей.** Для определения соответствия квалификации выпускников ФГОУ по вопросам энергосбережения и повышения энергоэффективности требованиям работодателей был проведен опрос среди ФГОУ на эту тему.

Среди выпускников, изучавших в период обучения в ВУЗе вопросы энергосбережения и повышения энергоэффективности, доля работающих в данной области крайне мала. Такое положение, объясняется, в частности, тотальным несоответствием полученной квалификации.

Основная причина - в направлениях ВПО еще не сложилась единая целостная нормативно-правовая и научно-методическая основа обучения по вопросам энергосбережения и повышения энергоэффективности. Другими словами, у кадрового обеспечения Государственной программы энергосбережения и повышения энергоэффективности нет надлежащей целенаправленной образовательной поддержки.

Поэтому одна из проблем постоянной кадровой поддержки энергосбережения и повышения энергоэффективности, которую надо решить – сформировать соответствующее образовательное направление ВПО «Энергосбережение и энергоэффективность» (бакалавриат и магистратуру) и на его основе соответствующие программы ДПО.

**2. Необходимость единого подхода к кадровому обеспечению энергосбережения и повышения энергоэффективности.** Реализация программ энергосбережения и повышения энергоэффективности на каждом предприятии, учреждении, требуют, как правило, инновационных решений от энергоответственного, в процессах энергоменеджмента, энергоаудита, энергетического обследования, энергосервиса, и, в особенности, в процессах разработки и внедрения возобновляемых источников энергии, разработки, внедрения энергосберегающих и энергоэффективных мероприятий

по системам тепло-, водо-, электроснабжения, системам кондиционирования и вентиляции и т.п.

**3. Инновации и complete-подход в энергосбережении и повышении энергоэффективности.** Необходимы инновационные, по сути, программа энергосбережения и повышения энергоэффективности на каждом предприятии, учреждении, а также ее частные инновационные составляющие – программы энергоменеджмента, энергоаудита, энергетического обследования, энергосервиса, разработки и внедрения возобновляемых источников энергии, разработки и внедрения энергосберегающих и энергоэффективных мероприятий по системам тепло-, водо-, электроснабжения, системам кондиционирования и вентиляции и т.п.

Инновационная программа энергосбережения и повышения энергоэффективности на каждом предприятии, учреждении должна тогда быть целостным объединением всех частных инновационных решений по вопросам энергосбережения и повышения энергоэффективности и являться важным компонентом инновационной программы целостного развития предприятия, учреждения.

Решение подобных задач возможно лишь при целостном кадровом обеспечении формирования и реализации инновационных программ энергосбережения и повышения энергоэффективности предприятия, учреждения.

Кадровое обеспечение предполагает наличие кадров, обладающих технологиями единого мышления и практики. В основе технологий целостного мышления и практики лежит модель целостной complete-триады «субъект – объект – результат». Для данного случая целостная complete-триада может быть представлена в виде **«формирование целостных программ энергосбережения и повышения энергоэффективности – целостная реализация программ энергосбережения и повышения энергоэффективности – целостные результаты программ энергосбережения и повышения энергоэффективности»**.

Область деятельности «Энергосбережение и повышение энергоэффективности» требует профессионалов высокой степени квалификации, обладающих технологиями целостного мышления и практики с широким спектром компетенций, умеющих ориентироваться в потоке поступающей информации, способных грамотно и мобильно решать сложные производственные задачи при постоянно изменяющихся условиях. Однако кадровый состав предприятий указывает на отсутствие необходимого количества квалифицированных работников. На это имеется ряд причин:

**4. Единое образовательное направление.** Основным рабочим документом для высших учебных заведений в России является образовательный стандарт высшего профессионального образования, в который включены требования к обязательному минимуму содержания и уровню подготовки инженеров.

Для области энергосбережения и повышения энергетической эффективности такой стандарт отсутствует, как отсутствует и само направление «Энергосбережение и энергоэффективность». При этом, всеобщий курс на энергосбережение и повышение энергетической эффективности требует и долгие годы будет требовать огромного числа специалистов с высшим и дополнительным образованием в данной сфере. Нужны направления подготовки бакалавров и магистров по образовательному направлению «Энергосбережение и энергоэффективность» со специализациями по энергоответственности, энергоаудиту и энергетическому обследованию, энергоменеджменту, энергосервису, энергосервису, разработке и внедрению возобновляемых источников энергии, разработке и внедрению энергосберегающих и энергоэффективных мероприятий по системам тепло-, водо-, электроснабжения, системам кондиционирования и вентиляции и т.п.

Без соответствующего федерального государственного образовательного стандарта (ФГОС) бакалавриата, магистратуры подготовка необходимого числа специалистов для кадрового обеспечения Государственной программы по вопросам энергосбережения и повышения энергоэффективности невозможна.

ФГОС по направлению высшего профессионального образования «Энергосбережение и энергоэффективность» должен быть направлен, в первую очередь, на формирование технологий целостного мышления и практики выпускников по всем специализациям подготовки. Каждый из этих специалистов должен воспринимать единое взаимодействие всех частных видов деятельности по вопросам энергосбережения и повышения энергоэффективности, знать и уметь решать вопросы своей частной деятельности в целостном единстве со всеми другими видами деятельности по вопросам энергосбережения и повышения энергоэффективности.

**5. Единство дополнительного профессионального образования.** Отсутствие типовых (стандартизованных) образовательных программ по вопросам энергосбережения и повышения энергоэффективности в программах дополнительного профессионального образования также не способствует созданию надлежащего кадрового обеспечения программ энергосбережения и повышения энергоэффективности предприятий, учреждений.

Содержание образования и технологии обучения не позволяют реализовать подготовку конкурентоспособного выпускника на рынке труда. Эта проблема уже привела к появлению огромного количества образовательных программ образовательных учреждений по подготовке энергоаудиторов, в частности. Появляются новые энергоаудиторские компании, проводящие энергетические обследования на низком, непрофессиональном уровне. Результатом работы с такими компаниями могут явиться поддельные энергетические паспорта, программы мероприятий по энергосбереже-

нию и энергоэффективности не соответствующие реалиям заказчика и т.д.

Необходима типовая, а затем и стандартизованная программа дополнительного профессионального образования «Энергосбережение и энергоэффективность» с такими же специализациями, как и в предлагаемом направлении высшего профессионального образования. Эта программа должна быть направлена также и на формирование технологий целостного мышления и практики выпускников по всем специализациям.

**6. Необходим единый комплекс учебных заведений,** осуществляющих подготовку и переподготовку кадров по вопросам энергосбережения и повышения энергоэффективности.

Недостаточны как число учебных заведений, осуществляющих подготовку и переподготовку кадров по вопросам энергосбережения и повышения энергоэффективности, так и численность профессионалов-преподавателей по вопросам энергосбережения и повышения энергоэффективности.

Даже если ежегодно обучать (из 450 000 требуемых) 45 000 специалистов, число преподавателей должно быть не менее 450-ти, в лучшем случае.

Необходимо организовать повышение квалификации и переподготовку преподавателей по вопросам энергосбережения и повышения энергоэффективности со всеми необходимыми специализациями.

Играет роль, конечно, и демографический фактор: работоспособное население в России составляет примерно 50 % от его численности.

Необходим **единый** комплекс учебных заведений, осуществляющих подготовку и переподготовку кадров по вопросам энергосбережения и повышения энергоэффективности, а также корпус отечественных преподавателей, обладающих технологиями целостного мышления и практики преподавания по вопросам энергосбережения и повышения энергоэффективности.

Реализацию данных предложений можно рассматривать как вид «инвестиции в будущее предприятия».

**7. Единство и продуктивность мышления и практики энергоответственного.** Вопросы формирования единого и продуктивного уровня мышления и практики рассмотрим на примере обучения энергоответственного, работающего в сложной и большой среде деятельности. В процессе получения образования обучаемому энергоответственному необходимо сформировать свою индивидуальную технологию продуктивного целостного мышления для будущих условий профессиональной работы. Другими словами, для решения каждой конкретной профессиональной проблемы будущему энергоответственному надо научиться перерабатывать знания, получаемые по изучении различных дисциплин, и формировать новое знание, пригодное для целостного продуктивного решения данной проблемы.

**Единство мышления и практики** – качество, на формирование которого направлена комплетика [1,2]. Усвоение комплетики позволяет организовать имеющиеся знания в целостный комплекс моделей и технологий. Обладающий целостностью мышления и практики работник умеет инвентаризировать имеющиеся знания, выделить из них полезные, преобразовать их в целостный комплекс моделей знания и технологий их практического применения для решения поставленной проблемы. Продуктивность мышления и практики позволяет работнику создать новый комплекс моделей знания и технологий, наилучшим образом отвечающий конкретной проблеме.

Такое мышление позволит ему интегрировать свои знания для решения проблем энергосбережения и повышения энергоэффективности (создание комплекса моделей знания и технологий) и дифференцировать их для решения отдельных задач энергосбережения и повышения энергоэффективности (применение определенных моделей знания и технологий из данного комплекса).

В практике любой организации, предприятия каждая конкретная профессиональная проблема уникальна, представляет собой комплекс проблем. Для ее решения нет готовой методики, нет готовых методологий и теорий, нет, нередко, и профессионального мировоззрения. Здесь непригодно репродуктивное мышление, основанное только на применении ранее полученных знаний для решения проблем. Здесь необходим целостный и продуктивный методологизм профессионала - работника [1,2].

В образовательном процессе надо содействовать обучаемому в прохождении пути от начального «природного» уровня продуктивной целостности мышления и практики до уровня продуктивной целостности мышления и практики профессионала. Здесь необходима некоторая базовая дисциплина, позволяющая объединить возможности разных дисциплин образовательной программы для этой цели, а также и метод формирования продуктивной целостности мышления и практики при преподавании отдельных дисциплин.

**Организация сети центров энергосбережения и повышения энергоэффективности Минобрнауки России.** Для управления формированием и функционированием сети центров Минобрнауки РФ по вопросам энергосбережения и повышения энергоэффективности необходимо внедрение целостного complete-менеджмента [1,2].

Распределенная сеть комплексных образовательных центров позволит проводить работы по разработке совместных предложений по формированию образовательных стандартов в области энергосбережения и энергоэффективности, аккредитации образовательных учреждений, привлечению специалистов разного профиля для проведения образовательных и научно-внедренческих работ, сотрудничать с российскими и зарубежными образовательными учреждениями, энергетическими компаниями.

Создание распределенной сети комплексных образовательных центров по энергосбережению и энергоэффективности способствует формированию Госзаказа, заказа от промышленных, отраслевых компаний на подготовку специалистов по энергосбережению и энергоэффективности.

Внутри такой сети возможно построение **кадастра интеллектуальной собственности**, содержащего юридический, финансовый, управленческий и другие блоки для возможности определения статуса, стоимости объектов интеллектуальной собственности. Формирование кадастра объектов интеллектуальной собственности способствует привлечению заказчиков на проведение научно-исследовательских и внедренческих работ, а также формированию полезного информационного пространства, основанного на самых актуальных информационных продуктах.

Для качественной работы сети центров обучения и энергоэффективности, а также, для вовлечения в работу таких центров большого числа ФГОУ необходимо создание **системы мотивации**, которая ставит своей целью способствовать улучшению (появлению, укреплению) бренда подведомственной организации и его эффективному позиционированию. Целостная система мотивации включает как возможности поощрения со стороны Минобрнауки РФ, так и привлечение внебюджетных инвестиций на реализацию образовательной деятельности в области энергосбережения и повышения энергоэффективности, налаживание взаимодействий между подведомственными организациями для обмена опытом, стимулирование совместного проведения образовательных и внедренческих работ.

Общую модель мотивации деятельности по энергосбережению и повышению энергоэффективности можно представить в виде функциональной триады мотивации «субъект мотивации – объект мотивации – результат мотивации» [1,2].

В качестве объекта мотивации деятельности по энергосбережению и повышению энергоэффективности мы рассматриваем:

- коллективы сотрудников и учащиеся подведомственных организаций и таких частей организаций, как подразделения, службы, управления, департаменты, факультеты, институты, кафедры, цеха и др.;
- энергоаудиторов, энергоменеджеров, специалистов по энергосервису, по разработке и внедрению возобновляемых источников энергии, по разработке и внедрению энергосберегающих и энергоэффективных мероприятий по системам тепло-, водо-, электроснабжения, системам кондиционирования и вентиляции и т.п.

По отношению к объекту мотивации субъект мотивации осуществляет мотивацию деятельности по энергосбережению и повышению энергоэффективности. В качестве субъекта мотивации мы рассматриваем:

- отдельные физические лица - представители Министерства образования и науки РФ, руководство ФГОУ, энергоответственные,
- юридические лица (напр., учреждения, подведомственные Ми-

нобранауки РФ, и их части - подразделения, службы, департаменты и др.,

- объединения и группы лиц (коллективы менеджеров верхнего, среднего, нижнего звеньев, саморегулируемые организации и др.),

- руководители групп энергоаудиторов, энергоменеджеров, специалистов по энергосервису, по разработке и внедрению возобновляемых источников энергии, по разработке и внедрению энергосберегающих и энергоэффективных мероприятий по системам тепло-, водо-, электроснабжения, системам кондиционирования и вентиляции и т.п..

Объект мотивации, под координацией субъекта мотивации, производит определенный результат – улучшение энергосбережения и повышение энергоэффективности и таким образом выполняет законодательство РФ в части энергоэффективности. Под влиянием совместной деятельности субъекта и объекта мотивации результат приобретает необходимые свойства, форму, состояние, соответствующие заданиям Госпрограммы энергосбережения и повышения энергоэффективности.

Наличие complete-триады мотивации «субъект мотивации – объект мотивации – результат мотивации» позволяет рассматривать мотивацию как цельность и целостность с позиций целостного метода [1, 2, 3].

Такое рассмотрение дает возможность, в частности, выделения общего и особенного во вкладах каждой составляющей объекта и субъекта мотивации в результат деятельности триады «субъект – объект – результат» деятельности по энергосбережению и повышению энергоэффективности.

### **Список литературы**

1. Степанов В.М., Косырихин В.С. Подготовка и переподготовка инженерных и научных кадров в области энергоресурсосбережения ТулГУ. Технические науки. Вып. 6. Ч. 1. Тула: Изд-во ТулГУ, 2011. 291 с.

2. Фролов В.В., Нурахов Н.Н. Подготовка и переподготовка учебных и научных кадров Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 12. Ч. 3. Тула: Изд-во ТулГУ, 2012. 299 с.

3. Фролов В.В. Энергоэффективность 2013: тенденции и приоритеты. Вестник «Энергоэффективности», 2013, № 3.

*Степанов Владимир Михайлович, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой, директор УТЦ «Энергоэффективность», Россия, Тула, Тульский государственный университет*

**ABOUT THE FORMATION OF REGIONAL EDUCATION MODEL  
ENERGY SAVING AND ENERGY EFFICIENCY**

**V.M. STEPANOV**

*Main directions of formation of a regional training model for energy conservation and energy.*

*Key words: education, services, energy, conservation, efficiency, integrity, integrity, комплектка, demand, rating, offer educational programs.*

*Stepanov Vladimir Mikhailovich, doctor of technical science, professor, head the department, director of the training center «Energy efficiency», Russia, Tula, Tula state University*

УДК 378.1

## **ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ И ПРОВЕДЕНИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ПРАКТИКИ МАГИСТРОВ НА КАФЕДРЕ «ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА» ТУЛЬСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА**

С.В. Ершов, Т.Е. Сергеева

*Рассмотрены методы и подходы проведения научно-исследовательской практики магистров на кафедре «Электроэнергетика» Тульского государственного университета». Поставлены цели и задачи проведения научно-исследовательской практики магистров. Определена степень необходимости проведения научно-исследовательской практики магистров*

*Ключевые слова: научные исследования, электроэнергетика, магистерская диссертация, электрооборудование, электроснабжение.*

Качественная подготовка магистров техники и технологии по электроэнергетическим специальностям является важной задачей выпускающей кафедры «Электроэнергетика» Тульского государственного университета (ТулГУ). Для обеспечения требуемого качества подготовки магистр должен обладать способностями проводить научные исследования и использовать результаты данных исследований на практике. Этому в значительной мере способствует научно-исследовательская практика магистров.

Целью научно-исследовательской практики является освоение магистром методики проведения всех этапов научно-исследовательских работ – от постановки задачи исследования до подготовки статей, заявок на получение патента на изобретение, гранта, участие в конкурсе научных работ и др.

Тематика научно-исследовательской практики определяется темой магистерской диссертации студента.

Научно-исследовательская практика осуществляется в соответствии

с рабочим учебным планом магистерских образовательных программ направления "Электроэнергетика" и индивидуальным планом подготовки магистранта. Практика проходит под контролем научного руководителя магистранта.

Прохождение научно-исследовательской практики предусмотрено в десятом семестре обучения. Время прохождения практики составляет шесть недель. Результаты научно-исследовательской практики используются при подготовке магистерской диссертации.

*Задачи* научно-исследовательской практики:

а) изучить:

- патентные и литературные источники по разрабатываемой теме с целью их использования при выполнении выпускной квалификационной работы;

- методы исследования и проведения экспериментальных работ;
- правила эксплуатации приборов и установок;
- методы анализа и обработки экспериментальных данных;
- физические и математические модели процессов и явлений, относящихся к исследуемому объекту;

- информационные технологии в научных исследованиях, программные продукты, относящиеся к профессиональной сфере;

- принципы организации компьютерных сетей и телекоммуникационных систем;

- требования к оформлению научно-технической документации;

- порядок внедрения результатов научных исследований и разработок;

б) выполнить:

- анализ, систематизацию и обобщение научно-технической информации по теме исследований;

- теоретическое или экспериментальное исследование в рамках поставленных задач, включая математический (имитационный) эксперимент;

- анализ достоверности полученных результатов;

- сравнение результатов исследования объекта разработки с отечественными и зарубежными аналогами;

- анализ научной и практической значимости проводимых исследований, а также технико-экономической эффективности разработки;

- подготовить заявку на патент или на участие в гранте.

в) приобрести навыки:

- формулирования целей и задач научного исследования;

- выбора и обоснования методики исследования;

- работы с прикладными научными пакетами и редакторскими программами, используемыми при проведении научных исследований и разработок;

- оформления результатов научных исследований (оформление от-

чѐта, написание научных статей, тезисов докладов);

– работы на экспериментальных установках, приборах и стендах.

*Порядок прохождения практики.*

*1 этап* – составление индивидуального плана прохождения практики совместно с научным руководителем.

Магистрант самостоятельно составляет план прохождения практики (см. прил. 1) и утверждает его у своего научного руководителя. Также на этом этапе формулируются цель и задачи экспериментального исследования.

*2 этап* (1 неделя) – подготовка к проведению научного исследования. Для подготовки к проведению научного исследования магистранту необходимо изучить: методы исследования и проведения экспериментальных работ; правила эксплуатации исследовательского оборудования; методы анализа и обработки экспериментальных данных; физические и математические модели процессов и явлений, относящихся к исследуемому объекту; информационные технологии в научных исследованиях, программные продукты, относящиеся к профессиональной сфере; требования к оформлению научно-технической документации; порядок внедрения результатов научных исследований и разработок. На этом же этапе магистрант разрабатывает методику проведения эксперимента.

Результат: методика проведения исследования.

*3 этап* (2–3 неделя) – проведение экспериментального исследования. На данном этапе магистрант собирает экспериментальную установку, производит монтаж необходимого оборудования, разрабатывает компьютерную программу, проводит экспериментальное исследование.

Результат: числовые данные.

*4 этап* (4 неделя) – обработка и анализ полученных результатов. На данном этапе магистрант проводит статистическую обработку экспериментальных данных, делает выводы об их достоверности, проводит их анализ, проверяет адекватность математической модели.

Результат: выводы по результатам исследования.

*5 этап* (5 неделя) – инновационная деятельность. Магистрант анализирует возможность внедрения результатов исследования, их использования для разработки нового или усовершенствованного продукта или технологии. Оформляет заявку на патент, на участие в гранте или конкурсе научных работ.

Результат: заявка на участие в гранте и/или заявка на патент.

*6 этап* (6 неделя) – заключительный. Магистрант оформляет отчет о практике, готовит публикацию и презентацию результатов проведенного исследования. Защищает отчет по научно-исследовательской практике.

Результат: публикация и презентация, аттестация по научно-исследовательской практике.

*Формы отчета о прохождении практики. требования к содержа-*

нию и оформлению отчета.

К отчетным документам о прохождении практики относятся:

I. Отзыв о прохождении научно-исследовательской практики магистрантом, составленный руководителем (см. прил. 2). Для написания отзыва используются данные наблюдений за научно-исследовательской деятельностью магистранта, результаты выполнения заданий, отчет о практике.

II. Отчет о прохождении научно-исследовательской практики, оформленный в соответствии с установленными требованиями.

III. Подготовленную по результатам выполненного научного исследования публикацию.

*Содержание отчета.* Текст отчета должен включать следующие основные структурные элементы:

1. Титульный лист
2. Индивидуальный план научно-исследовательской практики.
3. *Введение*, в котором указываются:
  - цель, задачи, место, дата начала и продолжительность практики;
  - перечень основных работ и заданий, выполненных в процессе практики.
4. *Основная часть*, содержащая:
  - методику проведения эксперимента;
  - математическую (статистическую) обработку результатов;
  - оценку точности и достоверности данных;
  - проверку адекватности модели;
  - анализ полученных результатов;
  - анализ научной новизны и практической значимости результатов;
  - обоснование необходимости проведения дополнительных исследований.
5. *Заключение*, включающее:
  - описание навыков и умений, приобретенных в процессе практики;
  - анализ возможности внедрения результатов исследования, их использования для разработки нового или усовершенствованного продукта или технологии;
  - сведения о возможности патентования и участия в научных конкурсах, инновационных проектах, грантах; апробации результатов исследования на конференциях, семинарах и т.п.;
  - индивидуальные выводы о практической значимости проведенного исследования для написания магистерской диссертации.
6. Список использованных источников.
7. Приложения, которые могут включать:
  - иллюстрации в виде фотографий, графиков, рисунков, схем, таблиц;
  - листинги разработанных и использованных программ;

- промежуточные расчеты;
- дневники испытаний;
- заявку на патент;
- заявку на участие в гранте, научном конкурсе, инновационном проекте.

Прохождение научно-исследовательской практики магистрами в соответствии с методикой, предложенной в данной статье в значительной степени повысит уровень подготовки магистра как будущего научного работника и будет способствовать более качественному написанию магистерской диссертации по электроэнергетической тематике.

### Список литературы

1. Закон Российской Федерации "Об образовании" в редакции Федерального закона от 13.01.1996 г. № 12-ФЗ.
2. Федеральный закон "О высшем и послевузовском профессиональном образовании" от 22 августа 1996 г. № 125-ФЗ.
3. «Положение о порядке проведения практики студентов образовательных учреждений высшего профессионального образования», утвержденное приказом Минобрнауки России № 1154 от 25.03.2003.

Ершов Сергей Викторович, канд. техн. наук, доц., [erschov.serrg@mail.ru](mailto:erschov.serrg@mail.ru), Россия, Тула, Тульский государственный университет,

Сергеева Татьяна Евгеньевна, инженер, [kafelene@rambler.ru](mailto:kafelene@rambler.ru), Россия, Тула, Тульский государственный университет

#### SPECIALTIES OF ORGANIZATION AND HOLDING OF SCIENTIFIC RESEARCH PRACTICES MASTERS STUDY AT FACULTY «ELECTRIC POWER INDUSTRY» TULA STATE UNIVERSITY

S.V. Ershov, T.E. Sergeeva

*The methods and approaches of conducting research practices masters study at faculty «electric power industry» Tula state University». The goals and objectives of the research practices masters. The degree of necessity to conduct research practices masters*

*Keywords: scientific research, power engineering, master thesis, electrical equipment, power supply.*

Ershov Sergey Victorovich, candidate of technical science, docent, [erschov.serrg@mail.ru](mailto:erschov.serrg@mail.ru), Russia, Tula, Tula State University,

Sergeeva Tatiana Evgenyevna, engineer, [kafelene@rambler.ru](mailto:kafelene@rambler.ru), Russia, Tula, Tula State University

## **МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРАКТИКИ СТУДЕНТОВ НА КАФЕДРЕ «ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА» ТУЛЬСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА**

С.В. Ершов, Т.Е. Сергеева

*Рассмотрена методика проведения производственной практики студентов, обучающихся по специальности 140211 «Электроснабжение» на кафедре «Электроэнергетика» Тульского государственного университета». Определены цели и задачи проведения производственной практики студентов. Определен требуемый минимум знаний и приобретаемых навыков студентом во время практики*

*Ключевые слова: производственная деятельность, электроэнергетика, дипломное проектирование, электрооборудование, электроснабжение.*

Среди основных проблем повышения качества подготовки специалистов в высшей школе занимает производственная практика, целью которой является систематизация и закрепление теоретических знаний в процессе ознакомления с реальным производством и приобретение навыков решения задач будущей деятельности инженера.

Обеспечение надежной работы энергосистем, электрических станций и сетей на современном этапе является важнейшей задачей проектирования и эксплуатации, обеспечивающей минимальный расход материальных и денежных ресурсов и минимальной затраты живого труда при одновременном обеспечении требуемой степени надежности электроснабжения. Энергосистемы продолжают оставаться основными источниками электроснабжения потребителей электроэнергии. В то же время изменение технологических процессов производства, связанное с их усложнением приводит к необходимости модернизации и реконструкции систем электроснабжения, т.е. перехода на автоматизированные системы управления.

Эти основные проблемы охватывает большое количество теоретических и практических вопросов, в изучении и усвоении которых производственная практика играет важную роль. Именно в этот период студенты имеют возможность ознакомиться с предстоящей работой, понять производственные проблемы, ощутить те требования, которые будут к нему предъявлены как к специалисту.

### **1. Виды, цели и задачи производственных практик**

**Производственная практика** является основополагающей составной частью общей программы теоретической и практической подготовки квалифицированных специалистов и формирует у студентов профессиональные знания, практические навыки в предметной области в соответствии с установленной отраслевой ориентацией специальности.

**Цель производственной практики** – закрепление и углубление

теоретических знаний студентов, приобретение практических производственных навыков, последовательная подготовка для дальнейшего изучения специальных дисциплин и выполнения учебных проектов.

***Задачи производственной практики:***

- ознакомление с организацией и структурой предприятия;
- ознакомление студентов с основным энергетическим и электро-техническим оборудованием системы электроснабжения;
- изучение системы электроснабжения, ее особенностей, нормирования расхода электропотребления, условий надежности и бесперебойности питания, вопросы поддержки (регулирования) качества электроэнергии, отчетность перед энергосберегающей и вышестоящей организациями;
- получение практических навыков чтения и составления принципиальных схем электрических соединений электроустановок;
- изучение режимов работы электрооборудования, релейной защиты и противоаварийной автоматики, грозозащиты и заземляющих устройств;
- сдача экзамена в объеме II – III групп по технике безопасности;
- овладение навыками выполнения электромонтажных и ремонтных работ;
- сбор материалов для курсовых работ и дипломного проекта.

*В результате прохождения практики студенты должны изучить и знать:*

- мероприятия по безопасному ведению работ в электроустановках, защитные средства и правила пользования ими;
- основы организации предприятия, структуру энергетического хозяйства предприятия;
- основные вопросы стандартизации и качества продукции;
- технические схемы производства и распределения тепловой и электрической энергии;
- схемы электроснабжения, условные обозначения основных элементов схем электроснабжения;
- способы промышленного получения переменного и постоянного тока;
- назначение, принцип работы и конструкцию основного энергетического оборудования (котлы, турбины, генераторы, трансформаторы, линии, выключатели, разъединители и т.д.);
- назначение, принцип работы, конструкцию основных потребителей электрической энергии на предприятии;
- организацию рабочих мест по ремонту и монтажу электрооборудования.

В соответствии с учебным планом подготовки инженеров по специальности 140211 «Электроснабжение» студенты должны пройти ознакомительную, производственно-технологическую и преддипломную практики, в ходе которых реализуются установленные цели и задачи. Общая харак-

характеристика производственных практик приведена в таблице.

**Виды производственных практик**

| Этапы | Наименование практики                  | Курс | Семестр | Продолжительность                    |
|-------|----------------------------------------|------|---------|--------------------------------------|
| 1     | Ознакомительная                        | III  | 6       | В течение семестра<br>1 раз в неделю |
| 2     | Производственно-технологическая        | IV   | 8       | 6 недель                             |
| 3     | Преддипломная (очная форма обучения)   | V    | 10      | 3 недели                             |
| 4     | Преддипломная (заочная форма обучения) | VI   | 12      | 3 недели                             |

Практики проводятся в виде теоретических занятий (лекций и экскурсий) и индивидуальной работы в отделах и подразделениях предприятия в соответствии с установленными задачами.

Изучение:

- основного энергетического и электротехнического оборудования систем электроснабжения;
- принципиальных схем электрических соединений электроустановок;
- структуры энергетического хозяйства предприятий;
- технико-экономических показателей электроэнергетической системы

Изучение:

- технологических схем производства и распределения тепловой и электрической энергии;
- организации рабочих мест по ремонту и монтажу основного электрооборудования;
- организации проектно-конструкторской работы, порядка разработки, прохождения и утверждения проектной, технической и конструкторской документации, приобретение практических навыков по проектированию систем электроснабжения;
- влияние параметров основного силового оборудования на режимы, технико-экономические показатели и схему системы электроснабжения;
- основные устройства защиты, измерений, автоматики, телемеханики и телеуправления в системе электроснабжения, их назначения, порядков функционирования;
- основные методы обнаружения и устранения повреждений в силовом оборудовании.

Сбор материалов для выполнения дипломного проекта. Изучение технико-экономической эффективности системы электроснабжения, вопросов БЖД и промышленной экологии.

*Организация производственной практики.*

Организация производственной практики осуществляется выпускающей кафедрой на III – V курсах очной и V курсе заочной форм обучения.

Общая координация работ по организации практик осуществляется учебным отделом университета. Участие в подготовке проведения практики принимают деканат и кафедры, выступающие в качестве консультантов при дипломном проектировании.

Базы практики определяются договором между университетом и предприятиями, в котором предусматривается закрепление за студентами рабочих мест и квалифицированных руководителей.

Списки студентов, направляемых на практику, доводятся учебным отделом университета до баз практики не менее чем за 15 дней до ее начала. Направления студентов на практику производится приказом по университету.

*Контроль над ходом практик.*

Текущий контроль над прохождением студентом практики осуществляется руководителем от предприятия. Материалом для контроля служит текущая работа студентов и табельный учет.

Руководитель практики от университета осуществляет периодический контроль путем ознакомления с работой студентов на местах, просмотра дневников, бесед со студентами и руководителями практики от предприятия.

*Обязанности руководителя от университета.*

В обязанности руководителя практики от университета входит:

- устройство студентов на предприятии (принятие участия в оформлении приказа о прохождении практики и назначении руководителей от предприятия, оформление пропусков, инструктаж по технике безопасности, контроль над распределением студентов по службам или цехам и т.д.;
- обеспечение проведения организационных мероприятий перед началом практики (ознакомление студентов с программой практики, консультации о порядке прохождения практики и по выполнению программы практики);
- составление и выдача индивидуальных заданий;
- проверка дневников и отчетов по практике;
- участие в комиссии по приему зачетов по практике.

*Обязанности руководителя от предприятия*

В обязанности руководителя практики от предприятия входит:

- организация и проведение практики в соответствии с программой практики и календарным планом;

- предоставление студентам, в соответствии с программой практики, мест, обеспечивающих наибольшую эффективность прохождения практики;
- предоставление студентам возможности пользоваться чертежно-технической документацией и имеющейся технической литературой;
- оказание студентам помощи в подборе материала;
- контроль над выполнением студентами правил внутреннего распорядка;
- проведение лекций, консультаций и экскурсий;
- проверка и подписание отчетов по практике, составление отзыва о работе студента (отзыв дается в дневнике с указанием оценки и заверяется печатью).

*Проведение итогов практики.*

Основными документами, определяющими работу студентов в период практики, являются отчет студента по практике и дневник.

Дневник ведется ежедневно в течение всего периода практики. Он проверяется и визируется руководителем практики не реже одного раза в неделю. В дневнике записываются все виды работ, выполняемые ежедневно студентом.

За три дня до окончания практики отчет и дневник в окончательно оформленном виде сдаются руководителю практики от предприятия для проверки и подписи.

*Требования по оформлению отчета по практике.*

Отчет по практике оформляется в соответствии с общими требованиями и правилами по ГОСТ 2.105-95.

Содержание отчета включает:

- титульный лист по форме (Приложение А);
- содержание;
- введение;
- изложение изученных вопросов и собранных материалов по всем разделам, предусмотренным программой практики;
- заключение по отчету;
- список использованных источников.

### **Список литературы**

1. Методические указания к выполнению практики по научно-исследовательской работе Направление подготовки: 140200 - Электроэнергетика, ТулГУ, электронный ресурс.
2. Методическое пособие по учебной практике для студентов специальности 140211 - Электроснабжение, ТулГУ, электронный ресурс..
3. «Положение о порядке проведения практики студентов образовательных учреждений высшего профессионального образования», утвер-

жденное приказом Минобразования России № 1154 от 25.03.2003.

Ершов Сергей Викторович, канд. техн. наук, доц., [erschov.serrg@mail.ru](mailto:erschov.serrg@mail.ru), Россия, Тула, Тульский государственный университет,

Сергеева Татьяна Евгеньевна, инженер, [kafelene@rambler.ru](mailto:kafelene@rambler.ru). Россия, Тула, Тульский государственный университет

METHODS OF CONDUCTING THE INDUSTRIAL PRACTICE OF STUDENTS ON  
FACULTY «ELECTRIC POWER INDUSTRY» TULA STATE UNIVERSITY

S.V. Ershov, T.E. Sergeeva

*The method of conducting the industrial practice of students on a speciality 140211 «power supply» on the faculty «electric power industry» Tula state University». Defines the goals and tasks of conducting the industrial practice of students. To determine the required minimum of knowledge and acquired skills of the student during practice*

*Key words: production activities, power generation, degree of design, electrical equipment, power supply.*

Ershov Sergey Victorovich, candidate of technical science, docent, [erschov.serrg@mail.ru](mailto:erschov.serrg@mail.ru), Russia, Tula, Tula State University,

Sergeeva Tatiana Evgenyevna, engineer, [kafelene@rambler.ru](mailto:kafelene@rambler.ru), Russia, Tula, Tula State University

УДК 378.1

## **ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ СРЕДСТВ ОБУЧЕНИЯ ПРИ ПОДГОТОВКЕ СТУДЕНТОВ НА КАФЕДРЕ «ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА» ТУЛЬСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА**

В.М. Степанов, С.В. Ершов, Т.Е. Сергеева

*Рассмотрены вопросы применения инновационных средств обучения студентов на кафедре «Электроэнергетика» Тульского государственного университета. Описаны основные программные продукты и средства визуализации изображения. Даны общие сведения о методике преподавания дисциплин с использованием компьютерных средств обучения.*

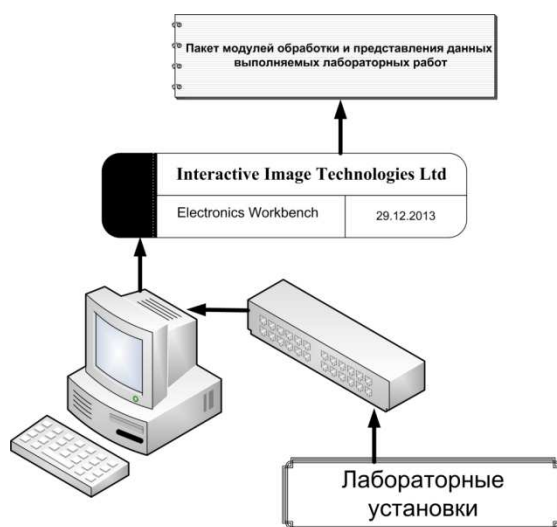
*Ключевые слова: моделирование, электроэнергетика, переходные процессы, электрооборудование, электроснабжение.*

Прогресс в образовании связан с развитием способностей студентов самостоятельно изучать новые сложные явления и использовать эти знания на производстве. Этому в значительной мере способствует совершенствование лабораторной базы и методик лабораторного эксперимента. Современные технические средства и компьютерные технологии позволяют решать эту задачу наиболее эффективным образом.

В своей преподавательской деятельности преподаватели кафедры «Электроэнергетика» Тульского государственного университета реализует основное направление совершенствования современного учебного эксперимента - использование информационных технологий для визуализации и демонстрации основных законов электроэнергетики. При этом лабораторные работы выполняются как многофакторные исследования, осуществляются в динамике и дополняются элементами математического моделирования. Такая постановка экспериментов требует одновременного и непрерывного измерения нескольких параметров, таких как напряжение, статический и динамический момент, потребление активной и реактивной мощности, скорость срабатывания электрических аппаратов и т.п.

Для реализации такого подхода используется среда графического программирования и технические средства компании «Interactive Image Technologies Ltd» (США). Основной идеей построения автоматизированных систем сбора, обработки и визуализации экспериментальных данных является модификация компьютера до уровня многоканальной информационно-измерительной системы с высокими технологическими характеристиками. Первый уровень платформы технических и программных средств, используемых для автоматизации лабораторного оборудования (рис.1) - это объекты исследования, т.е. отдельные лабораторные установки, оснащенные измерительными датчиками - преобразователями физиче-

ских величин в электрические сигналы. Следующий уровень - платы автоматизированного сбора данных, преобразующие аналоговые сигналы датчиков в цифровой код; компьютер и измерительные сервисы. Последние представляют собой программные модули, обеспечивающие осуществление измерений доступным для пользователя способом. В их состав входят драйверы измерительных и вспомогательных приборов и инструменты для их калибровки. Третий уровень представляет программная среда, в которой создаются и работают модули, автоматизирующие процессы измерений и обработки данных.



**Рис.1. Платформа технических и программных средств для компьютеризации лабораторных установок**

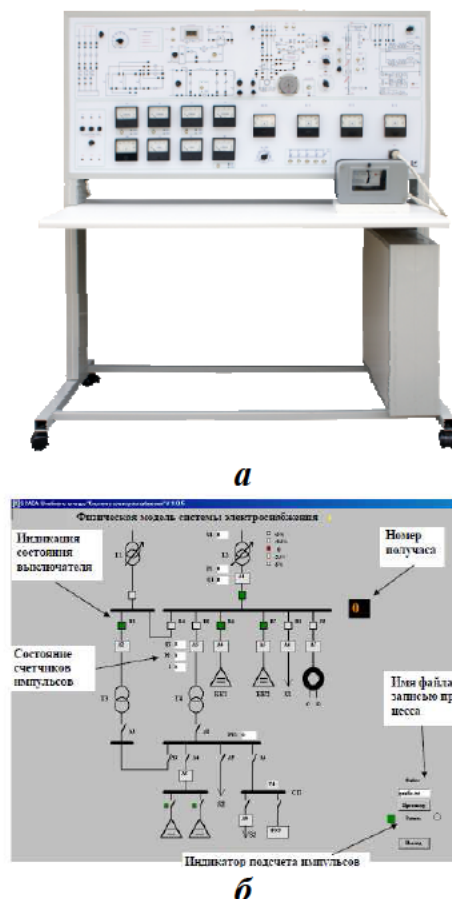
Необработанные данные, как правило, содержат информацию, не пригодную к анализу. Поэтому они должны быть преобразованы к виду, удобному для анализа. Для этого необходимо убрать шумовые искажения, скорректировать аппаратные ошибки, компенсировать возмущающие воздействия. Затем должны быть разработаны специальные программы управления экспериментом и управления полученными информационными массивами, определен способ представления данных для каждой лабораторной работы. Это четвертый уровень платформы.

При поочередном подключении автоматизированные лабораторные установки обслуживаются одним компьютером. Измерительная система, используемая в настоящем практикуме, позволяет одновременно измерять восемь различных параметров и осуществлять управление экспериментом по двум каналам. Электрические сигналы с датчиков подаются на 12-разрядный аналого-цифровой преобразователь с USB-выходом. Плата сбора данных преобразует токи и измеряемые напряжения в цифровой код с точностью до 0,5 % от действующего значения.

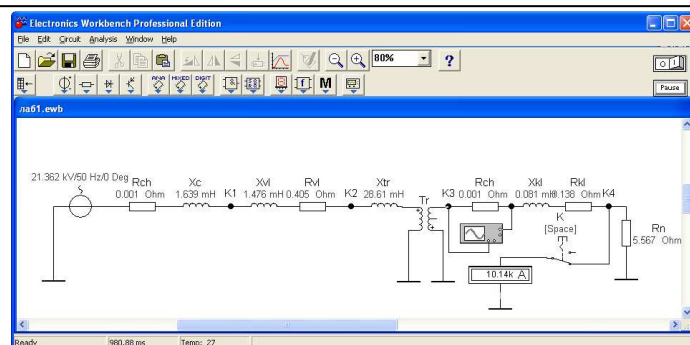
Полученный цифровой сигнал обрабатывается в среде *Electronics*

*Workbench*. Результаты измерений выводятся на лицевую панель монитора компьютера или мультимедийный экран в виде показаний обычных стрелочных или цифровых приборов, осциллографов и самописцев. Непосредственно во время эксперимента строятся графики изменения параметров во времени, а по его окончании их зависимости друг от друга. Благодаря возможности визуального наблюдения процессов, в том числе и скрытых от непосредственного наблюдения, значительно повышается информативность выполняемых лабораторных работ. Это позволяет отказаться от использования традиционной измерительной техники, сопровождающегося рутинными операциями считывания результатов измерений, преобразования их в цифровые величины, ввода полученных массивов в стандартные программы статистической обработки и т.д. В них обычно теряется часть полезной информации, появляются дополнительные погрешности, непродуктивно используется время занятий, многие эксперименты вообще неосуществимы.

Примеры рабочих окон лабораторных работ приведены на рисунках 2- а, 2-б, 3.



**Рис.2. Лабораторный стенд:**  
**а - внешний вид одного из лабораторных стендов;**  
**б - рабочее окно программы «Определение параметров электроснабжения»**



**Рис.3. Исследования переходных процессов**

С применением технологий *Electronics Workbench* выполняются лабораторные работы: «Методы и средства измерения параметров электропитания», «Экспериментальное определение реактивной мощности», «Экспериментальное определение мощности трансформатора», «Исследование токов короткого замыкания», «Исследование фазовых переходов», «Исследование политропных процессов», «Экспериментальное определение времени переходных процессов», «Исследование сетей с распределенными параметрами», «Исследование высоковольтных электрических сетей», «Исследование защиты трансформатора».

В настоящее время, с развитием компьютерной техники и подорожанием составляющих экспериментальных установок, значительно возрастает роль численного моделирования физических процессов. Не вызывает сомнения необходимость наглядной демонстрации исследуемых в процессе обучения зависимостей для их лучшего понимания и запоминания. Подготовка и проведение лабораторных работ на реальном оборудовании являются довольно непростым делом, т.к. требуют знания соответствующих методических особенностей, и в значительной степени зависят от наличия тех или иных приборов и инструментов. Эти и другие проблемы можно решить, используя при обучении компьютерный эксперимент. Под данным термином понимается лабораторная работа, проводимая полностью на компьютере, без использования других технических средств обучения. Наиболее перспективными в плане внедрения методологии компьютерного моделирования и вычислительного эксперимента предметами являются дисциплины физического типа. В первую очередь это связано с характером изучаемого материала, допускающего построение компьютерных моделей и исследование явлений методом компьютерного имитационного моделирования. Модели кладутся в основу демонстрационных и обучающих программ, программ тренажеров и численного эксперимента. Компьютерные модели легко вписываются в традиционный урок, позволяя преподавателю продемонстрировать на экране компьютера многие физические эффекты, а также позволяют организовывать новые, нетрадиционные виды учебной деятельности учащихся. Основные виды заданий, которые предлагаются учащимся при работе с компьютерными моделями:

Ознакомительное задание. Это задание предназначено для того, чтобы помочь учащемуся осознать назначение модели и освоить её регулировки. Задание содержит инструкции по управлению моделью и контрольные вопросы.

Компьютерные эксперименты. В рамках этого задания учащемуся предлагается провести несколько простых экспериментов с использованием данной модели и ответить на контрольные вопросы.

Экспериментальные задачи. Это задачи, для решения которых учащемуся необходимо спланировать и провести ряд компьютерных экспериментов.

Тестовые задания. Это задания с выбором ответа, в ходе выполнения которых учащийся может воспользоваться компьютерной моделью.

Исследовательское задание. Учащемуся предлагается самому спланировать и провести ряд компьютерных экспериментов, которые подтверждают или опровергают некоторую закономерность. Наиболее способным учащимся предлагается самостоятельно сформулировать ряд закономерностей и подтвердить их экспериментом.

Творческое задание. В рамках данного задания учащиеся сами придумывают задачи, формулируют их, решают, а затем ставят компьютерные эксперименты для проверки полученных ответов.

Перечисленные задания помогают учащимся быстро овладеть управлением компьютерной моделью, способствуют осознанному усвоению учебного материала и пробуждению творческой фантазии. Особенно важно то, что учащиеся получают знания в процессе самостоятельной работы, так как эти знания необходимы им для получения конкретного наблюдаемого на экране компьютера результата.

В наших работах для проведения анализа в широком круге инженерных дисциплин используется многоцелевой конечно-элементный пакет *Electronics Workbench*. Для решения широкого спектра задач вычислительной газодинамики и гидродинамики применяется профессиональный аналитический программный комплекс *Electronics Workbench 5.1..*

Преимущество *Electronics Workbench 5.1* особенно проявляется при решении больших моделей с многокомпонентными течениями и сложной структурой. Решатель *Electronics Workbench* малочувствителен к отношениям размеров элементов, временным шагам и релаксационным факторам. Точность решения достигается как за счет высокой точности на узел, так и схемой дискретизации второго порядка устанавливаемой по умолчанию. Эти же свойства сохраняются при параллельных расчетах, обеспечивая отличные параметры ускорения на многопроцессорных системах и кластерах рабочих станций.

Кроме того, *Electronics Workbench* представляет открытую архитектуру и специальные средства для изменения всех возможностей. Входные данные и результаты могут сохраняться в различных форматах, что обес-

печивает легкую интеграцию с существующими программными средствами.

Точность моделирования непосредственно связана с физическими моделями, используемыми в расчете. *Electronics Workbench* содержит большое количество физических моделей для обеспечения точных результатов в широком диапазоне промышленных задач. Все физические модели могут взаимодействовать друг с другом, на любой топологии сетки, с применением всех типов интерфейсов областей расчета, используя связанный многосеточный решатель, в том числе и при параллельном расчете. Область применения CFX: Многофазные потоки, вращающиеся машины, распределение энергии, теплообмен, коэффициент мощности, гармонические составляющие и др.

В лаборатории электроэнергетики выполняются работы: «Моделирование переходных процессов в *Electronics Workbench*», «Моделирование трехфазных токов короткого замыкания в системе *Electronics Workbench*», «Моделирование пуска трансформатора», «Моделирование действия релейной защиты».

Приобретенные знания и навыки проведения электроэнергетических экспериментов в электроэнергетической сфере применяются студентами, аспирантами в их дальнейшей научно-исследовательской деятельности.

### Список литературы

1. Кудрин, Б. И. Электроснабжение промышленных предприятий: учеб. для студ. высш. учеб. заведений / Б. И. Кудрин. 2-е изд. М.: Интермет Инжиниринг, 2006. 672 с.

2. ГОСТ 13109–97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. М.: Изд-во стандартов, 1998.

3. Библия электрика: ПУЭ. Новосибирск: Сиб. ун-т, 2007. 606 с..

Степанов Владимир Михайлович, д-р техн. наук, проф., [eists@rambler.ru](mailto:eists@rambler.ru), Россия, Тула, Тульский государственный университет,

Ершов Сергей Викторович, канд. техн. наук, доц., [erschov.serrg@mail.ru](mailto:erschov.serrg@mail.ru), Россия, Тула, Тульский государственный университет,

Сергеева Татьяна Евгеньевна, инженер, [kafelene@rambler.ru](mailto:kafelene@rambler.ru). Россия, Тула, Тульский государственный университет

IMPACT OF THE PRACTICE AT THE LEVEL OF PREPARATION OF STUDENTS ON A SPECIALITY 140211«POWER» OF THE TULA STATE UNIVERSITY

V.M. Stepanov, S.V. Ershov, T.E. Sergeeva

*Describes how to use innovative means of training of students on faculty «electric power industry» Tula state University». Describes the basic software products of image visualization. The General data on the methods of teaching subjects using computer training.*

*Key words: modeling, electric power, transients, electrical equipment, power supply.*

*Stepanov Vladimir Michailovich, doctor of technical science, professor, [eists@rambler.ru](mailto:eists@rambler.ru), Russia, Tula, Tula State University,*

*Ershov Sergey Victorovich, candidate of technical science, docent, [ershov.serrg@mail.ru](mailto:ershov.serrg@mail.ru), Russia, Tula, Tula State University,*

*Sergeeva Tatiana Evgenyevna, engineer, [kafelene@rambler.ru](mailto:kafelene@rambler.ru), Russia, Tula, Tula State University*

УДК 378.1

## **ОЦЕНКА УРОВНЯ ПОДГОТОВКИ СТУДЕНТОВ ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ 140211 «ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ» ТУЛЬСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА**

**В.М. Степанов, С.В. Ершов, Т.Е. Сергеева**

*Рассмотрены вопросы применения качества подготовки студентов кафедрой «Электроэнергетика» Тульского государственного университета». Даны общие показатели удовлетворенности работодателей качеством подготовки специалистов в области электроснабжения.*

*Ключевые слова: обучение, электроэнергетика, образование, электрооборудование, электроснабжение.*

Анализ удовлетворенности потребителей является одним из процессов системы менеджмента качества Тульского государственного университета.

В качестве потребителя в университете следует полагать, прежде всего, студентов (внутренний потребитель), хотя они же одновременно играют роль отчасти ресурсов и конечного продукта деятельности вуза. Помимо этого, потребителем является и будущий работодатель (независимо от формы собственности предприятия), а также общество в целом, интеллектуальный и созидательный потенциал которого прямо зависит от уровня образованности его членов, то есть во многом от качества подготовки выпускников вузов.

К критерию отражающего результаты деятельности вуза относится

- удовлетворенность потребителя качеством образовательной деятельности. В этом критерии следует сделать особый акцент на учете соответствия профиля и уровня подготовки выпускников требованиям работодателей.

При трудоустройстве молодого сотрудника работодатель всегда предъявляет ряд требований, по которым он определяет степень подготовки данного специалиста, для того, чтобы определить степень его готовности к работе на предприятии.

Для анализа удовлетворенности работодателей в университете используется анкета «Оценка важности и уровень удовлетворенности работодателей качеством подготовки выпускаемых специалистов Тульского государственного университета». Метод исследования - анкетирование директоров, руководителей кадровых служб и начальников отделов организаций и предприятий г. Тулы, Тульской области и других регионов.

В 2013 г. в процессе проведения анкетирования было опрошено 56 предприятий, имеющих различные организационно-правовые формы и различающиеся по своей специфике. Из них 68 % - предприятия и организации строительного, машиностроительного, химического, металлургического и оборонного профиля, 32 % - предприятия и организации, относящиеся к сферам: культуры, здравоохранения, торговли, средствам массовой информации и предоставления энергетических услуг и т.д.

В соответствии с анкетой работодателям предлагалось определить степень важности, а так же степень удовлетворенности той или иной характеристики молодого специалиста.

Абсолютно важными требованиями респонденты назвали способность к самообучению, исполнительность, ответственность, стремление к профессиональному росту, знание компьютера на уровне «уверенный пользователь», а также способность вести переговоры, самоорганизация, владение нормативной литературой и уровень практических навыков, полученных во время прохождения практик на производстве (100%). Немаловажными характеристиками работодатели считают способность выпускников применять теоретические знания, полученные в ходе обучения на практике и уровень знаний в области специализации (98 %), а так же знание специализированных компьютерных программ и способность к быстрому изучению специфики организации (97 %). Важную роль, по мнению работодателей, играет способность выпускников университета работать в команде, способность проявлять качества лидера, наличие у них аналитических способностей и владение современными информационно-коммуникационными технологиями (93% - 95 %). В связи с тем, что 32 % респондентов - это предприятия и организации, относящиеся к культурной, экономической, юридической сферам деятельности и здравоохранению, то важность таких показателей, как способность к решению инженерных задач в области специализации и способность к проведению научных исследований и творческих поисков в рамках профессии были оценены на 88 %

и 90 %, соответственно. 80 % опрошенных отметили значимость такой характеристики, как необходимый уровень владения иностранным языком.

Работодатели в рамках исследования так же оценили качество подготовки выпускников ТулГУ по специальности 140211 «Электроснабжение».

100 % работодателей отметили высокий уровень владения выпускников компьютерными средствами, применяемыми в своей профессиональной деятельности. Свою абсолютную удовлетворенность выпускниками университета работодатели показали по критерию исполнительность, ответственность, стремление к профессиональному росту (100 %).

В области знаний работодатели удовлетворены по показателю владение современными информационно-коммуникационными технологиями на 98 %, а по показателям - уровень знаний в области специализации и способность применения теоретических знаний, полученных в ходе обучения на практике на 97 % и в тоже время показатель знание специализированных компьютерных программ удовлетворяет работодателей только на 93 %. И самая низкая удовлетворенность в области знаний 82 % - необходимый уровень владения иностранным языком.

В области способностей выпускников работодатели удовлетворены:

- на 98 % способностью к быстрому изучению специфики организации;
- на 97 % способностью к командной работе и способность к самообучению;
- на 95 % - наличие аналитических способностей и на 93 % способностью проявлять качества лидера.

Удовлетворенность в области способностей выпускников университета к проведению научных исследований и творческих поисков в рамках профессии, и к решению инженерных задач в области специализации составили 90 % и 87 % соответственно.

5 % работодателей не довольны уровнем практических навыков выпускников, полученных в ходе производственных практик, инженерной подготовкой, умением владеть нормативной литературой, способностью вести переговоры и т. д.

Сравнение требований и уровня удовлетворенности по шестнадцати ключевым для работодателей критериям приведены на рис. 1.

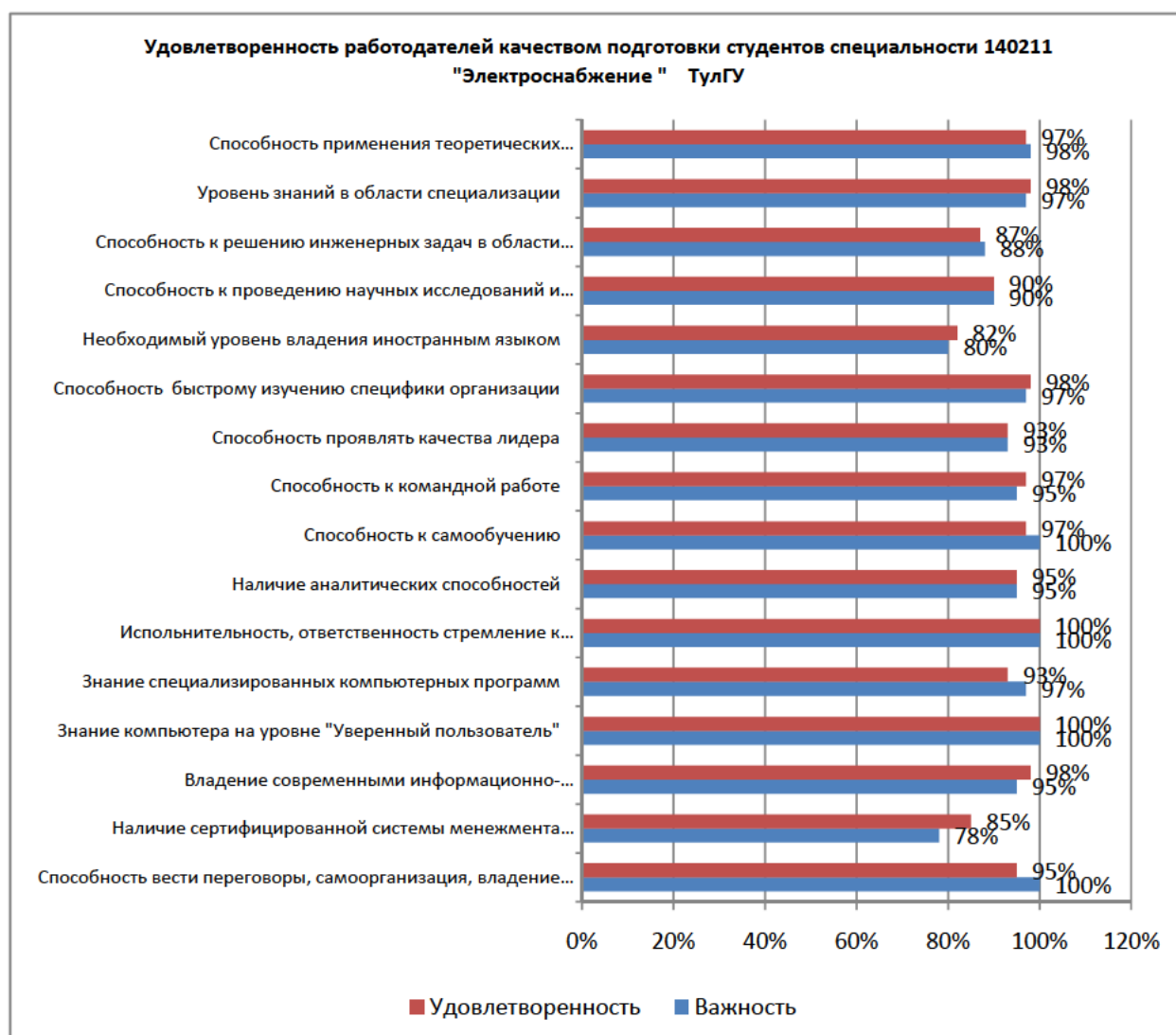
Исходя из результатов сравнений, можно сделать вывод, что практически по всем показателям степень важности и степень удовлетворенности совпадают. Разница варьируется в пределах 1 %, а по некоторым показателям степень удовлетворенности превышает степень важности.

Внимание необходимо обратить на следующие критерии важные с точки зрения работодателя:

- способность вести переговоры, самоорганизация, владение нормативной литературой и уровень практических навыков, полученных во вре-

мя прохождения практик на производстве;

- знание специализированных компьютерных программ;
- способность к самообучению.



**Рис. 1 Уровень удовлетворенности работодателей качеством подготовки студентов 140211 «Электроснабжение»**

**Выводы:**

Ключевые критерии работодателей по отношению к молодым специалистам не претерпели значительных изменений. По-прежнему, важным критерием отбора служит оценка личностных характеристик и потенциала молодого сотрудника. Поэтому ходе обучения необходимо не только грамотно организовать учебный процесс, главной целью которого является предоставление необходимого объема знаний, но и сформировать у выпускников базу более полного и глубокого представления о будущей профессии, а так же базу актуальных личностных компетенций, востребованных на рынке труда.

Практика должна формировать правовую культуру будущего специалиста, а потому следующее требование - это не только правильный подбор базы практик, а направлять к тем специалистам, которые желают передать практикантам особенности и навыки своей работы. То есть задача вуза направлять на практику туда, где работают профессионалы с чувством ответственности.

И, наконец, руководители практик вуза должны разработать четкий план таких практик и при приеме отчетности обращать внимание на присутствие в них организаторских, коммуникативных и поисковых черт деятельности практикующего.

И как результат - выставление оценки (вместо зачета по стандартам второго поколения).

Хочется, надеяться, что такие требования действительно будут способствовать результативности в получении образования по специальности 140211 электроснабжение. Однако без дополнительного финансирования (имеется в виду для проведения практик) их выполнение будет просто невозможным.

В силу всего сказанного смысл модернизации технического образования нельзя сводить только к «подстраиванию» под европейскую систему (хотя и это надо учитывать), а на то, что техническая высшая школа должна выпускать профессионала: 1) умеющего сочетать интересы общества, государство и личности; 2) способного развивать творческий процесс, без чего немыслима сущность электроснабженца; 3) он должен обладать способностью установить органическую связь образования, науки с позитивной энергетической практикой.

### **Список литературы**

1. Федеральный закон "О высшем и послевузовском профессиональном образовании" от 22 августа 1996 г. № 125-ФЗ.

2. «Положение о порядке проведения практики студентов образовательных учреждений высшего профессионального образования», утвержденное приказом Минобрнауки России № 1154 от 25.03.2003 г.

*Степанов Владимир Михайлович, д-р техн. наук, проф., [eists@rambler.ru](mailto:eists@rambler.ru), Россия, Тула, Тульский государственный университет,*

*Ершов Сергей Викторович, канд. техн. наук, доц., [erschov.serrg@mail.ru](mailto:erschov.serrg@mail.ru), Россия, Тула, Тульский государственный университет,*

*Сергеева Татьяна Евгеньевна, инженер, [kafelene@rambler.ru](mailto:kafelene@rambler.ru). Россия, Тула, Тульский государственный университет*

**ASSESSMENT OF THE LEVEL OF PREPARATION OF STUDENTS ON SPECIALTY  
140211 «POWER SUPPLY» OF THE TULA STATE UNIVERSITY**

*V.M. Stepanov, S.V. Ershov, T.E. Sergeeva*

*Considered the application of the quality of training of students of the Department «electrical engineering» Tula state University». Some General indicators of satisfaction of employers with the quality of training of specialists in the field of electricity.*

*Key words: education, power engineering, education, electrical equipment, power supply.*

*Stepanov Vladimir Michailovich, doctor of technical science, professor, [eists@rambler.ru](mailto:eists@rambler.ru), Russia, Tula, Tula State University,*

*Ershov Sergey Victorovich, candidate of technical science, docent, [er-schov.serrg@mail.ru](mailto:er-schov.serrg@mail.ru), Russia, Tula, Tula State University,*

*Sergeeva Tatiana Evgenyevna, engineer, [kafelene@rambler.ru](mailto:kafelene@rambler.ru), Russia, Tula, Tula State University*

УДК 378.1

## **ВЛИЯНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРАКТИКИ НА УРОВЕНЬ ПОДГОТОВКИ СТУДЕНТОВ ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ 140211 «ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ» ТУЛЬСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА**

**В.М. Степанов, С.В. Ершов, Т.Е. Сергеева**

*Рассмотрены вопросы влияния процесса прохождения производственной практики студентов кафедрой «Электроэнергетика» Тульского государственного университета» на общий уровень подготовки специалистов в области электроэнергетики.*

*Ключевые слова: обучение, электроэнергетика, образование, электрооборудование, электроснабжение.*

Становление в Российской Федерации общества, основанного на знаниях и постиндустриальном способе производства, в значительной степени связано с тем, удастся ли экономике встать на путь инновационного развития. В связи с постановкой данного вопроса возрастает значение и ответственность высшего образования, инновационный потенциал которого реализуется не в полной мере. Инновационность образования определена самой его сущностью как сферы знаний, поскольку любое знание включает в себе потенциал новаций. Речь идет об инновационной направленности высшего образования, что позволяет вырабатывать у студентов творческие способности, умение решать проблемы, навыки участия в проектных мероприятиях, способности адаптироваться к быстрой смене технологий и т.д. Однако, инновационная направленность образования может

проявляться в разной степени. Последнее обусловлено состоянием самого образования, переживающего период адаптации к изменившимся реалиям общественной жизни. Система образования в переходный период во многом утратила присущую ей инновационную направленность, ориентируется на шаблоны, препятствует проявлению творческой инициативы и потенциала личности.

Одной из животрепещущих тем модернизации высшей школы является повышение эффективности производственной практики. Сейчас вопросы производственной практики решаются во многом формально, зачастую студенты вынуждены самостоятельно искать места практики через своих знакомых, родителей [1, с.43]. Также на свои знакомства и связи опираются руководители практики от вуза. Учебная нагрузка, выделяемая на проведение практики, очень мала. Предприятия, их руководители не чувствуют какой-либо серьезной ответственности за организацию практики, в некоторых случаях дополнительно требуют от вуза плату за предоставление мест для практики студентов. Такой подход несовместим с задачами кадрового обеспечения инновационной деятельности, являющимися приоритетными в экономике знаний.

Сейчас во многих развитых странах в дополнение к традиционной роли университетов в подготовке профессиональных кадров и выполнении научных исследований, они становятся центрами инновационного развития территорий. Большое число разработок, используемых в реальном секторе экономики, выполняется в научно-производственных центрах университетов, где проходит практику большинство студентов. Инновационная деятельность провозглашается «третьей» миссией университетов, хотя есть и сторонники умеренного подхода, допускающего существование наряду с инновационно-ориентированными и классических (традиционных) университетов.

В настоящее время перед российскими университетами встает задача конструктивного участия в реализации инвестиционных проектов сферы материального производства региона и страны, развитие инновационной деятельности. Эту задачу придется решать в условиях частичного разрушения инновационной среды, утраты прежних механизмов ориентации отраслей, предприятий на инновации и новые технологии. Негативным фактором является неразвитость конкурентной среды и конкурентных отношений во многих секторах российской экономики. Российские крупные частные предприятия оказались не способными органически существовать без опоры на государственную бюрократию, в решении производственных задач они не склонны рассчитывать на себя, на науку, на современные технологии. Зачем им какой-то «рынок», конкуренция, какие-то «инновации», «модернизация»? Существующие условия позволяют предприятиям выживать даже при малом объеме инвестиций в научно-исследовательскую деятельность (НИД) и реализацию ее результатов.

Напротив, в ведущих странах мира большая часть расходов на финансирование НИД в настоящее время приходится на частный сектор, при этом доля государственного участия за последние 50 лет сократилась вдвое (до 31% в США и до 18% в Японии) [2, с.280]. В то же время в России степень участия государства в финансировании НИД остается крайне высокой - 59,6%, а доля предпринимательского сектора крайне низкой - 21,4% [2, с.281].

В период экономического кризиса руководители США, Китая, стран ЕС выступили с рядом инициатив, рассматривая стимулирование инновационной деятельности как важное средство активизации здоровых источников экономического роста, призывая увеличить бюджетные ассигнования науке и образованию. В основных центрах и регионах глобального инновационного развития объявлены планы повышения государственных расходов на исследования и разработки. Как правило, это дает позитивный стимул частному сектору, который также следует стратегии, предусматривающей сохранение исследовательских проектов и программ, а в ряде случаев идет на риск их наращивания для решения наиболее острых проблем конкурентоспособности. В результате эксперты уверенно прогнозируют увеличение мировых расходов на исследования и разработки.

В России, при снижении удельных расходов федерального бюджета на науку и образование в 2008-2012 г.г. в процентах от ВВП и от расходов федерального бюджета [3, с.100], в абсолютном выражении финансирование образования из федерального бюджета увеличивается: в 2007г. - 287,1 млрд. руб., а в 2010г. - 397,5 млрд. руб. (на 57,6 млрд. руб. больше, чем первоначально планировалось). Одновременно на развитие высоких технологий и инноваций в бюджете 2012 г. предусмотрено выделить 240 млрд. руб.

При определенных условиях, например, участие в целевых программах инновационного развития, у предприятия возникает потребность сделать заказ вузу на подготовку кадров с высшим образованием и формируется новый взгляд на производственную практику студентов.

Нам представляется, что дальнейшее развитие подготовки кадров с высшим образованием уже не может опираться только на один вузовский потенциал. Нужны новые интеграционные формы, объединяющие потенциал образовательных и производственных структур. Наиболее подходящими для этого могут быть регионы, где сосредоточена промышленность, наукоемкое производство, научные учреждения академической и отраслевой направленности, а также образовательные структуры. Тульская область отвечает всем сформулированным требованиям.

В нашей области накоплен определенный опыт сотрудничества предприятий региона и крупных вузов в этом направлении. Тульском государственном университете на кафедре «Электроэнергетика» в настоящее время осуществляется целевая подготовка около 200 человек. Филиал

«Тулэнерго» ОАО «МРСК Центра и Приволжья» выполняя функции работодателя, подает заявку в вуз на целевую подготовку специалистов для ОАО «Тулэнерго» и других предприятий отрасли. После шестого семестра (трех лет обучения) между предприятием и вузом заключается договор о целевой подготовке в соответствии с квалификационными требованиями.

Интеграция вуза и крупной, передовой в своей отрасли производственной структуры позволяет организовать полноценную научно- производственную практику. Труд в среде специалистов по направлению будущей профессии дает толчок к приобретению новых знаний. Тем самым создаются условия уже на студенческой скамье для проявления творческих способностей личности. Ориентация на конкретное производство, как на место будущей работы, усиливает заинтересованность студентов в выполнении выпускных квалификационных работ по прикладной тематике, позволяет существенно сократить срок их адаптации на предприятии.

Кроме того, дополнительное финансирование вуза в рамках целевой подготовки позволяет заинтересовать преподавателей, обновить материально-техническую базу, а главное, сломать инновационное сопротивление в вузовской среде, преодолеть отчуждение преподавателей и студентов от проблем современного производства.

В связи с возрастающим значением профессиональной стажировки в период учебы необходимо рассмотреть и вопрос вторичной занятости студентов. Есть вузы, где отдел производственной практики превратился в Центр развития карьеры, оказывающий помощь студентам, ищущим подработку во время учебы. В последние годы довольно заметной становится тенденция увеличения числа студентов, сочетающих учебу в вузе с оплачиваемой работой (более трети студентов дневных отделений). Работодатели нуждаются в студентах, так как те представляют слой работников, закрывающих собой потребность в неквалифицированном труде. В современных экономических условиях оплачиваемая работа имеет для студентов большое значение, в том числе и как непосредственный жизненный опыт человека. Работавшие студенты при будущем трудоустройстве уже могут вписать в свое резюме факт опыта работы и тем самым повысить свои шансы на получение желаемой вакансии. Но настораживает тот факт, что большинство работающих студентов высказывает мнение, что их нынешняя работа «не поможет» или «вряд ли поможет» овладению профессией, по которой они сейчас учатся.

Таким образом, забота о производственной практике как о профессиональной стажировке ни в коей мере не должна перекладываться на самих студентов, а оценку воздействия оплачиваемой работы студентов на их учебу необходимо проводить с учетом разнообразия ее режимов, характера и содержания, совпадения или несовпадения с профессиональной подготовкой студентов, получаемой в вузе.

В этой связи интересен опыт организации производственной прак-

тики кафедрой «Электроэнергетика» Тульского государственного университета на базе ОАО «МРСК Центра и Приволжья». Кафедра «Электроэнергетика» является выпускающей по специальности «Электроснабжение», ежегодный выпуск составляет около 30 человек. В последнее время при преподавании дисциплин применяется обучение студентов через научно-исследовательскую работу или исследовательский метод.

Соединение процесса обучения с процессом применения полученных знаний в период прохождения практики наиболее эффективно в следующих условиях:

- тема задания на практику обусловлена актуальными запросами энергетических служб, менеджерами организаций, предпринимателями;
- обучаемые психологически готовы к исследовательской работе;
- студенты ясно представляют цель, задачи и возможные направления решения данной проблемы;
- выполнение задания на практику имеет техническую и экономическую ценность.

Большинство условий было обеспечено за счет организации работы филиала кафедры в филиале «Тулэнерго» ОАО «МРСК Центра и Приволжья».

Департамент инвестиций и ВЭД оказывает услуги в счет вступительных взносов и на коммерческой основе с предоставлением скидок членам палаты. Студенты в период практики привлекаются к выполнению следующих видов работ: разработка и продвижение инвестиционных проектов, разработка проектов модернизации систем электроснабжения.

Разработка проектов модернизации систем электроснабжения предполагает решение широкого спектра задач:

- анализ нагрузок предприятия;
- управление энергопотоками и ресурсами;
- маркетинговые исследования;
- совершенствование организационной структуры системы электроснабжения;
- разработка стратегии развития системы электроснабжения и ее оценка;
- разработка проектной и рабочей документации.

Участие в разработке проектных и научно-исследовательских работ дает возможность приобрести практические навыки в проектировании и эксплуатации.

В настоящее время в соответствии с постановлением Правительства области от 30.03.2010г. комитет по образованию и администрация Тульской области производит отбор заявок для предоставления из областного бюджета грантов начинающим предпринимателям для создания собственного дела. Максимальный размер гранта в рамках одной заявки составляет 300 тыс. руб. Во время прохождения практики каждый студент разрабаты-

вает до трех проектов для соискателей на получение гранта на разработку системы электроснабжения.

В решении вопросов совершенствования производственной практики также принимают активное участие штатные преподаватели кафедры «Электроэнергетика», многие из которых проходят стажировку на предприятиях и в организациях – энергосбыта и энергогенерации.

Стремление разрабатывать темы по актуальным энергетическим проблемам делает сотрудничество кафедры с Филиалом «Тулэнерго» ОАО «МРСК Центра и Приволжья» взаимовыгодным, но не в полном объеме. Эта организация часто сталкивается с недостаточной способностью клиентов платить за предоставляемые услуги, поэтому возможности заключения с ней договоров на выполнение научно-исследовательских работ ограничены.

Выполнение задания под руководством квалифицированных специалистов в период практики, наличие материальных стимулов имеет для студентов большое социальное и экономическое значение. Многие студенты высказываются за участие в научно-исследовательской работе по специальности, развивая свои коммуникативные и инновационные способности.

Решение проблемы усиления инновационной составляющей образования невозможно без государственной поддержки. Образование объективно входит в определяющие стратегические условия существования и национальной безопасности страны. Общество в целом несет колоссальные потери в подготовке кадров из-за ненадлежащей организации производственной практики.

Государство через систему институтов должно побуждать предприятия и организации к заключению договоров с образовательными учреждениями (лицензирование, введение обязательных норм и др.), в том числе договоров на проведение производственной практики. Одновременно федеральными органами управления образованием вводятся новые показатели для вузов: процент выпускников, подготовленных в рамках целевой подготовки; уровень трудоустройства выпускников; процент выпускников, подготовленных в рамках целевых федеральных и региональных программ инновационного развития. Эта форма принуждения вузов вполне оправдана, так как крупные вузы, обучающие инженерно-техническим и экономико-управленческим специальностям, являются государственными.

Необходимо отметить, что государство в развитии сотрудничества между предприятиями и вузами должно играть двоякую роль. С одной стороны, оно в значительной мере иницирует процесс целевой подготовки кадров для инновационной экономики, создает необходимые условия для его развития и тем самым способствует привлечению дополнительного финансирования в вузы. С другой стороны, наравне с другими заинтересованными сторонами, может непосредственно участвовать в нем.

С нашей точки зрения повышение роли производственной практики в системе учебно-воспитательного процесса в вузе должно стать приоритетным направлением развития государственной высшей школы. При соответствующей мотивации руководителей высшего уровня и уровня подразделений вузы способны обеспечить подготовку кадров для инновационного развития и избежать узко прагматичных, утилитарных требований, предъявляемых высшему профессиональному образованию региональным рынком потребителей образовательных услуг.

### Список литературы

1. Бабаев Б. Д., Луценко С.В. Взаимодействие высшей школы и бизнеса в организации подготовки кадров для экономики страны// Экономика образования. 2009. № 4(2). С. 41-46.
2. Федеральный закон "О высшем и послевузовском профессиональном образовании" от 22 августа 1996 г. № 125-ФЗ.
3. «Положение о порядке проведения практики студентов образовательных учреждений высшего профессионального образования», утвержденное приказом Минобразования России № 1154 от 25.03.2003 г

Степанов Владимир Михайлович, д-р техн. наук, проф., [eists@rambler.ru](mailto:eists@rambler.ru), Россия, Тула, Тульский государственный университет,

Ершов Сергей Викторович, канд. техн. наук, доц., [erschov.serrg@mail.ru](mailto:erschov.serrg@mail.ru), Россия, Тула, Тульский государственный университет,

Сергеева Татьяна Евгеньевна, инженер, [kafelene@rambler.ru](mailto:kafelene@rambler.ru). Россия, Тула, Тульский государственный университет

### ASSESSMENT OF THE LEVEL OF PREPARATION OF STUDENTS ON SPECIALTY 140211«POWER SUPPLY» OF THE TULA STATE UNIVERSITY

V.M. Stepanov, S.V. Ershov, T.E. Sergeeva

*Consider the role of the process of passage of an industrial practice of students of the Department «electrical engineering» Tula state University» on the General level of training of specialists in the field of electricity.*

*Key words: training, power industry, education, electric equipment, power supply.*

Stepanov Vladimir Michailovich, doctor of technical science, professor, [eists@rambler.ru](mailto:eists@rambler.ru), Russia, Tula, Tula State University,

Ershov Sergey Victorovich, candidate of technical science, docent, [erschov.serrg@mail.ru](mailto:erschov.serrg@mail.ru), Russia, Tula, Tula State University,

Sergeeva Tatiana Evgenyevna, engineer, [kafelene@rambler.ru](mailto:kafelene@rambler.ru), Russia, Tula, Tula State University

УДК 378.1

## **ОРГАНИЗАЦИЯ ПРАКТИКИ СТУДЕНТОВ ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ 140211 «ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ» ТУЛЬСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА**

В.М. Степанов, С.В. Ершов, Т.Е. Сергеева

*Рассмотрены вопросы организации прохождения производственной практики студентов кафедрой «Электроэнергетика» Тульского государственного университета обучающихся по специальности 140211 «Электроснабжение».*

*Ключевые слова: обучение, электроэнергетика, образование, электрооборудование, электроснабжение.*

Приобретение опыта практической работы, отработка всех основных профессиональных умений является неотъемлемой частью подготовки студентов. Особую роль при решении этих задач в курсе обучения играет производственная и преддипломная практика. В ходе практики активизируется самосознание студентов, появляется первый опыт, утверждается отношение к выбранной профессии.

В системе высшего профессионального образования в настоящее время происходит изменение государственной политики. Идет поиск форм и методов повышения качества образования. Возрастает роль инновационных и экспериментальных методов обучения, направленных на развитие творческих способностей личности, повышения ее активности, приспособляемости и адаптируемости к новым условиям.

Все эти процессы протекают в условиях продолжающегося финансового кризиса, несовершенства и нестабильности правовой базы, которые накладывает определенные особенности на развитие высших учебных заведений, организацию их учебного процесса.

Недостаток денежных средств не позволяет своевременно обновлять материальную базу, повышать квалификацию преподавателей, внедрять современные информационные технологии образования. Особенно остро эта проблема стала в организации производственной и преддипломной практики. У ВУЗов отсутствуют средства платить за проведение практики, а у предприятий и фирм нет никакой заинтересованности в проведении практики.

Для студентов технических специальностей ставятся условия сохранения коммерческой тайны и конфиденциальной информации, которые приводят к ограничению доступа практикантов к необходимым документам и уменьшению познавательной, закрепляющей и развивающей роли практики. В подавляющем большинстве случаев практика сводится к формальному пребыванию на предприятии, выполнению функций курьера и

разовых поручений руководителя практики. У студента не формируется целостного представления о своем будущем рабочем месте, а также важности и значимости подразделения, где проходит практика в структуре предприятия.

Актуальность затронутой темы возрастает также в связи с появлением ряда новых аспектов: 1. переходом на новые условия хозяйствования и включением экономических методов управления; 2. формированием рынка образовательных услуг, созданием маркетинговых центров для нужд образования; 3. отсутствием стабильного и достаточного финансирования на государственном уровне; 4. свободным выбором вариантов учебных планов и программ обучения; 5. развитием коммерческих структур в образовательных учреждениях.

Переход на двухуровневую систему образования и внедрение Федеральных государственных образовательных стандартов, основанных на компетентностном подходе, требуют от образовательных учреждений высшего и среднего профессионального образования поиска новых более тесных форм взаимодействия и сотрудничества с потенциальными работодателями: промышленными предприятиями, организациями, холдингами, фирмами. Такое взаимодействие должно обеспечить обеим сторонам возможность формирования четко определенного профессионального портрета выпускника на основе компетентностного подхода.

Образовательные учреждения смогут наполнить основные образовательные программы по направлениям и профилям подготовки наиболее значимыми дисциплинами, повысить уровень профессионального мастерства профессорско-преподавательского состава, развить научную и материально-техническую базу в соответствии с конкретными запросами потенциальных работодателей. В то же время их партнеры будут получать специалистов с требуемым уровнем подготовки, способных с первых шагов трудовой деятельности решать конкретные производственные задачи.

Вся учебная, научная и воспитательная работа со студентами должна быть подчинена основной идее - сформировать у них навыки реальной жизни и деятельности в мире рыночной экономики, достаточные для их трудоустройства сразу после окончания вуза.

В связи с этим на кафедре «Электроэнергетика» ТулГУ была разработана и в течение ряда лет реализуется инновационная образовательная программа «Комплексная система непрерывной практической подготовки трудоустройства студентов в период обучения в вузе как основа организации и проведения практик».

Концепция этой системы характеризуется рядом отличительных принципов:

- комплексность использования разнообразных факторов и форм работы со студентами;

- интенсивность воздействия на студента;

включение студента в реальные процессы практической деятельности;

учет и использование жизненных интересов студента, преподавателя и работодателя;

постоянная нацеленность всех звеньев обучения на конечную цель проекта - трудоустройство выпускника по специальности;

резкое повышение роли выпускающей кафедры на всех стадиях непрерывной практической подготовки студентов - от довузовской подготовки до трудоустройства выпускника;

непрерывный контроль и стимулирование качества практической подготовки студентов на всех ее этапах;

ресурсное самообеспечение системы, активная роль в реализации проекта самих студентов.

Существующая система производственных практик, принятая кафедрой состоит из следующих звеньев, которые, в сущности, представляют движение от простого к сложному:

1. Получение студентами навыков практического решения инженерных и экономических задач, освоение алгоритмических языков программирования. Место проведения научно-исследовательские лаборатории ТулГУ.

2. Приобретение навыков по расчету, проектированию и конструированию элементов автоматических систем, а также испытанию и наладке блоков и систем автоматического управления, осуществляемых в лабораториях научно-исследовательских институтов, отделах заводов и других предприятиях и организациях, соответствующих профилю специальности.

3. Закрепление, расширение и углубление знаний в области проектирования, конструирования и технологии изготовления средств и систем автоматического управления, знакомство и решение задач, стоящих в области автоматизации технологических процессов, управления производством и финансово-экономической сфере, сбор производственных и экспериментальных данных для дипломного проекта.

Очень важна роль преподавателя при проведении производственной практики, который, во-первых является связующим звеном между студентами и работниками предприятия, поскольку заводские служащие подчас не владеют навыками педагогической и методической работы со студентами. Во-вторых, роль преподавателя усиливается из-за возрастания от младших до старших курсов степени индивидуализации задания. Преподаватель должен заранее организовать будущие рабочие места студентов, подготовить индивидуальные задания и наладить тесный контакт с заводскими работниками. В-третьих, очень важна контрольная функция преподавателя, поскольку необходимо проведение рубежного контроля для обеспечения качественного и систематического выполнения студентами задания на практику.

Важным моментом является процедура принятия зачета, который должен принимать преподаватель. Наилучший результат дает публичная защита отчета на рабочем месте в присутствии заводских сотрудников. Это повышает ответственность подхода студента к практике и качества ее выполнения, хотя является трудоемкой операцией.

В последние годы по экономическим причинам сократилось количество баз практики. Однако на ряде промышленных предприятий понимают важность проведения производственной практики при подготовке специалистов указанного профиля. Кафедра активно сотрудничает с Тульскими заводами ОАО «Тулаточмаш» ООО ПКФ «Автоматика», ООО «Скуратовский машиностроительный завод», ФГУП НПП «СПЛАВ», ОАО «Тулачермет» Филиал «Тулэнерго» ОАО «МРСК Центра и Приволжья». При общем уменьшении финансирования Высшей школы эти предприятия изыскивают возможность организации как производственных, так и преддипломной практики студентов. Это связано с желанием предприятий обеспечить себя в будущем квалифицированными инженерными кадрами. Уровень выполнения практик таков, что ряд наших студентов в дальнейшем приглашается для выполнения почасовой работы на этих предприятиях, а часть студентов трудоустраиваются.

Решение обозначенных проблем должно способствовать успешному прохождению студентами производственной практики в интересах повышения эффективности учебной деятельности института.

Следует также продумать меры, которые могли бы вызвать заинтересованность предприятий, учреждений в предоставлении возможности прохождения практики нашими студентами. Например, оказывать помощь в решении проблемных технических задач с использованием вычислительной техники; предоставлять внеконкурсные места для абитуриентов, направляемых для поступления на специальность 140211 «Электроснабжение». Решать эти вопросы следует оперативно, не откладывая.

### **Список литературы**

1. Федеральный закон "О высшем и послевузовском профессиональном образовании" от 22 августа 1996 г. № 125-ФЗ.
2. «Положение о порядке проведения практики студентов образовательных учреждений высшего профессионального образования», утвержденное приказом Минобрнауки России № 1154 от 25.03.2003.

*Степанов Тула Михайлович, д-р техн. наук, проф., [eists@rambler.ru](mailto:eists@rambler.ru), Россия, Тула, Тульский государственный университет,*

*Ершов Сергей Викторович, канд. техн. наук, доц., [erschov.serrg@mail.ru](mailto:erschov.serrg@mail.ru), Россия, Тула, Тульский государственный университет,*

Сергеева Татьяна Евгеньевна, инженер, [kafelene@rambler.ru](mailto:kafelene@rambler.ru), Россия, Тула, Тульский государственный университет

## ORGANIZATION OF PRACTICE OF STUDENTS ON A SPECIALITY 140211 «POWER» OF THE TULA STATE UNIVERSITY

V.M. Stepanov, S.V. Ershov, T.E. Sergeeva

*Considered issues of organization of production practice the students of the Department «electrical engineering» Tula state University» students majoring in 140211 «Electro-supply».*

*Key words: training, power industry, education, electric equipment, power supply.*

Stepanov Vladimir Michailovich, doctor of technical science, professor, [eists@rambler.ru](mailto:eists@rambler.ru), Russia, Tula, Tula State University,

Ershov Sergey Victorovich, candidate of technical science, docent, [ershov.serrg@mail.ru](mailto:ershov.serrg@mail.ru), Russia, Tula, Tula State University,

Sergeeva Tatiana Evgenyevna, engineer, [kafelene@rambler.ru](mailto:kafelene@rambler.ru), Russia, Tula, Tula State University

УДК 378

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕСТОВОГО КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ СТУДЕНТОВ ПО ТЕХНИЧЕСКИМ ДИСЦИПЛИНАМ

Ю.В. Кравцов

*Рассмотрены преимущества разделения тестовых билетов на три части: тесты на усвоение терминов, определений и основных зависимостей; тесты на различные элементы устройств, схем, их особенности и принцип действия; тесты с использованием отдельных формул по проектированию устройств и схем.*

*Ключевые слова: тесты, студенты, технические дисциплины.*

Итоговый контроль знаний студентов в настоящее время в Тульском государственном университете проводится в основном с помощью тестов на максимальную сумму 40 баллов. Анализ результатов устного опроса студентов по изучаемым техническим дисциплинам после тестового контроля, а также при защите выпускных квалификационных работ показывает, что существующая система тестового контроля нуждается в совершенствовании. В настоящее время контроль знаний студентов сводится к угадыванию правильных ответов из тестов, а сами тесты формируются из

текстовой части лекций. При этом студенты стремятся запомнить только ответы на вопросы тестов и они усваивают только общее понятие о дисциплине. У студентов не развивается логическое мышление, не формируются навыки решения конкретных вопросов и задач, необходимых при проектировании технических устройств и систем. Они не знают схем устройств и принцип их действия. Студенты путают и неправильно подставляют в расчетные формулы единицы измерения параметров, входящих в формулы; не могут определить ошибки в написании формул и ошибаются в 10, 100 и 1000 раз; не могут оценить правильность результатов расчетов, когда используют программы ЭВМ. Поэтому, при освоении технических дисциплин, кроме общих знаний о предмете, необходимо основное внимание уделить решению практических задач.

Чтобы обеспечить более полное усвоение материала технической дисциплины и обеспечить качественный контроль знаний студентов нужно контрольный материал (билеты с тестами), разделить на три составные части:

1) первая часть должна включать тесты на усвоение терминов, определений и основных зависимостей. Тесты должны содержать вопрос и четыре ответа, один из которых правильный или наиболее полный, а остальные – не полные или не совсем верные. При этом нельзя давать заведомо неверные ответы, которые обучающийся может запомнить и в дальнейшем вспоминать, как будто бы он его встречал в лекции или учебнике. Цифровые значения параметров и единицы измерения студент должен вписывать сам в таблицу ответов. Вопросов в первой части должно быть 20 и оцениваться они должны по 0,5 балла (максимальная сумма баллов по первой части – 10);

2) вторая часть – это тесты на различные элементы устройств, схем, их особенности и принцип действия. По каждому тесту число ответов должно быть не менее четырех. Вторая часть должна содержать 10 вопросов и оцениваться по одному баллу за правильный ответ (максимальная сумма баллов по второй части – 10);

3) третья часть – это тесты с использованием отдельных формул по проектированию устройств и схем. Так как в тестах невозможно давать решать объемную задачу, ее необходимо разделить на простые формулы по определению отдельных параметров, причем входящие параметры должны быть такими, чтобы решать можно было без помощи калькулятора. Таких тестов должно быть 10 и оцениваться они должны по два балла. Ответ в бланк студент должен записать сам цифрой с единицами измерений. Максимальная сумма баллов по третьей части – 20.

Использование рекомендуемой системы тестов позволит значительно повысить интерес студентов к изучению технических дисциплин и улучшить контроль их знаний.

*Кравцов Юрий Владимирович, канд. техн. наук, доц., [kafelene@rambler.ru](mailto:kafelene@rambler.ru), Россия, Тула, Тульский государственный университет*

**IMPROVEMENT OF TEST CONTROL OF KNOWLEDGE OF STUDENTS IN TECHNICAL DISCIPLINES**

**Y.V. Kravtsov**

*Advantages of the separation test tickets in three parts: the tests on the absorption of terms, definitions and basic dependency tests for various elements of the devices, schemes, their features and principle of operation; the tests using separate formulas for designing devices and circuits.*

*Key words: tests, students, technical discipline.*

*Kravtsov Yuriy Vladimirovich, candidate of technical science, docent, [kafelene@rambler.ru](mailto:kafelene@rambler.ru), Russia, Tula, Tula State University*

УДК 681.3

## **МНОГОКАДРОВАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ ИМПУЛЬСНОЙ ПОМЕХИ**

А.А. Аршакян, Ю.И. Луцков, А.С. Новиков

*Разработан подход к фильтрации помех при наблюдении статических сцен, сформированных точечными источниками. Показано, что эффективным методом фильтрации импульсных помех является многокадровая фильтрация. Разработан метод оптимального выравнивания координат при многокадровой фильтрации.*

*Ключевые слова: сигнал, точечный источник, гауссиан, шум, сцена, наблюдение, многокадровая фильтрация, выравнивание координат, оптимизация.*

Наблюдение групповых импульсных сигналов достаточно широко применяется в системах пространственной ориентации космических аппаратов, навигации, пеленгации и т.п. [1, 2, 3]. На практике полезные импульсы сопровождается помехами [2]. Эффективное выделение полезной составляющей возможно при многократном наблюдении одной и той же сцены, если местоположение импульсов на оси аргумента не меняется, или меняется незначительно, а импульсы помехи при каждом наблюдении имеют новые случайные координаты.

Модель сцены наблюдения может быть построена с использованием следующих допущений [4]:

все импульсы на выходе сенсора имеет форму гауссиана;

расстояние между импульсами настолько велико, что взаимовлияние двух соседних импульсов пренебрежимо мало.

сцена наблюдается  $N + 1$  раз, при этом первое наблюдение имеет номер ноль и формирует базовую модель сцены, а все остальные наблюдения формируют приводимые модели сцены;

групповой полезный сигнал включает  $K$  импульсов, а количество импульсов помехи является случайной величиной.

В соответствии с принятыми допущениями базовая группа из  $K$  импульсов полезного сигнала описывается следующим выражением:

$$f_0(t) = \sum_{k=1}^K \frac{A_k^0}{\sqrt{2\pi}a_k^0} \exp \left[ -\frac{(t - \tau_k)^2}{2(a_k^0)^2} \right], \quad (1)$$

где  $A_k^0$  - фактор, определяющий величину (интенсивность)  $k$ -го импульса при нулевом наблюдении;  $a_k^0$  - фактор, определяющий ширину (размытость)  $k$ -го импульса при нулевом наблюдении;  $\tau_k$  - смещение  $k$ -го импульса относительно начала отсчета оси аргумента;  $K$  - количество импульсов в группе.

При  $n$ -м наблюдении,  $1 \leq n \leq N$ , за счет смещения начала отсчета по оси аргумента на величину  $\Delta_n$ , приводимая группа из  $K$  импульсов полезного сигнала описывается следующим выражением:

$$f_n(t, \Delta_n) = \sum_{k=1}^K \frac{A_k^n}{\sqrt{2\pi}a_k^n} \exp \left[ -\frac{(t - \tau_k - \Delta_n)^2}{2(a_k^n)^2} \right], \quad (2)$$

где  $A_k^n$  и  $a_k^n$  - факторы, определяющие величину и ширину импульса при  $n$ -м наблюдении сцены, соответственно;  $\Delta_n$  - смещение начала отсчета по оси аргумента при  $n$ -м наблюдении;  $1 \leq n \leq N$ .

Последовательность импульсов помехи имеет вид

$$g_n(t) = \sum_{l(n)=1}^{L(n)} \frac{A_{l(n)}^n}{\sqrt{2\pi}a_{l(n)}^n} \exp \left[ -\frac{(t - \tau_{l(n)})^2}{2(a_{l(n)}^n)^2} \right], \quad (3)$$

где  $l(n)$  - индекс для обозначения  $l$ -го импульса помехи при  $n$ -м наблюдении;  $L(n)$  - количество импульсов помехи при  $n$ -м наблюдении;  $A_{l(n)}^n$  и  $a_{l(n)}^n$  - факторы, определяющие величину и ширину импульса при  $n$ -м наблюдении сцены, соответственно;  $\tau_{l(n)}$  - смещение  $k$ -го импульса от точки начала отсчета оси аргумента при  $n$ -м наблюдении.

Пусть необходимо совместить по оси аргумента пару импульсов вида

$$h_0(t) = \frac{B_0}{\sqrt{2\pi}b_0} \exp \left( -\frac{t^2}{2b_0^2} \right) \text{ и } h_1(t, \Delta) = \frac{B_1}{\sqrt{2\pi}b_1} \exp \left[ -\frac{(t - \Delta)^2}{2b_1^2} \right], \quad (4)$$

где  $B_0$  и  $B_1$  - факторы, определяющие величину совмещаемых импульсов;  $b_0$  и  $b_1$  - факторы, определяющие ширину совмещаемых импульсов;  $\Delta$  - смещение импульса относительно нулевого.

Под совмещением понимается ситуация, когда ось симметрии гауссиана  $h_0(t)$  совпадает с осью симметрии гауссиана  $h_1(t)$ . Ошибка совмещения может быть определена по среднеквадратичному расстоянию между кривыми

$$\varepsilon(\Delta) = \int_{-\infty}^{\infty} \left\{ \frac{B_0}{\sqrt{2\pi}b_0} \exp\left(-\frac{t^2}{2b_0^2}\right) - \frac{B_1}{\sqrt{2\pi}b_1} \exp\left[-\frac{(t-\Delta)^2}{2b_1^2}\right] \right\}^2 dt. \quad (5)$$

Независимо от соотношения величин  $B_0$ ,  $B_1$ ,  $b_0$  и  $b_1$  ошибка (5) достигает минимума в точке  $\Delta = 0$ .

Минимум критерия (5) достигается в точке, в которой производная  $\frac{d\varepsilon(\Delta)}{d\Delta} = 0$ :

$$\frac{d\varepsilon(\Delta)}{d\Delta} \left( \int_{-\infty}^{\infty} \left\{ \frac{B_0}{\sqrt{2\pi}b_0} \exp\left(-\frac{t^2}{2b_0^2}\right) - \frac{B_1}{\sqrt{2\pi}b_1} \exp\left[-\frac{(t-\Delta)^2}{2b_1^2}\right] \right\}^2 dt \right) = 0. \quad (6)$$

Выражение (6) путем эквивалентных преобразований приводится к виду:

$$\frac{B_0 B_1}{2\pi b_0 b_1} \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(-\frac{t^2}{2b_0^2}\right) d \exp\left[-\frac{(t-\Delta)^2}{2b_1^2}\right] - \frac{B_1^2}{2\pi b_1^2} \exp\left[-\frac{(t-\Delta)^2}{2b_1^2}\right]_{-\infty}^{\infty} = 0. \quad (7)$$

Второй член выражения (7) равен нулю, а для его первого члена справедливо равенство:

$$\lim_{\Delta \rightarrow 0} \frac{B_0 B_1}{2\pi b_0 b_1} \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(-\frac{t^2}{2b_0^2}\right) d \exp\left[-\frac{(t-\Delta)^2}{2b_1^2}\right] = 0. \quad (8)$$

Функция  $\varepsilon(\Delta)$  является монотонно возрастающей и имеет пределы:

$$\lim \varepsilon(\Delta) = \begin{cases} \frac{B_0^2 b_1 + B_1^2 b_0}{2\sqrt{\pi} b_0 b_1} & \text{при } \Delta \rightarrow \infty; \\ \frac{B_0^2 b_1 + B_1^2 b_0}{2\sqrt{\pi} b_0 b_1} - \frac{\sqrt{2} B_0 B_1}{\sqrt{\pi(b_0^2 + b_1^2)}} & \text{при } \Delta \rightarrow 0. \end{cases} \quad (9)$$

Вид функции (5) для некоторого соотношения  $B_0$ ,  $B_1$ ,  $b_0$  и  $b_1$  приведен на рис. 1.

Таким образом, и в том случае, если параметры  $B_0$ ,  $b_0$  гауссиана  $h_0(t)$  не совпадают с параметрами  $B_1$ ,  $b_1$  гауссиана  $h_1(t)$  минимальное значение  $\varepsilon(\Delta)$  достигается в точке в которой оси симметрии гауссианов совпадают, а следовательно ошибка  $\varepsilon(\Delta)$  может быть использована в качестве критерия при совмещении точек отсчета групп импульсов.

Для фильтрации помехи [5] необходимо совместить базовую группу (1), включая помеху (3), с  $n$ -й,  $1 \leq n \leq N$ , приводимой группой (2), включая помеху (3), при этом должна минимизироваться ошибка приведения [6, 7]

$$\varepsilon(\Delta_n) = \int_{-\infty}^{\infty} \{ [f_0(t) + g_0(t)] - [f_n(t, \Delta_n) + g_n(t)] \}^2 dt \rightarrow \min. \quad (10)$$

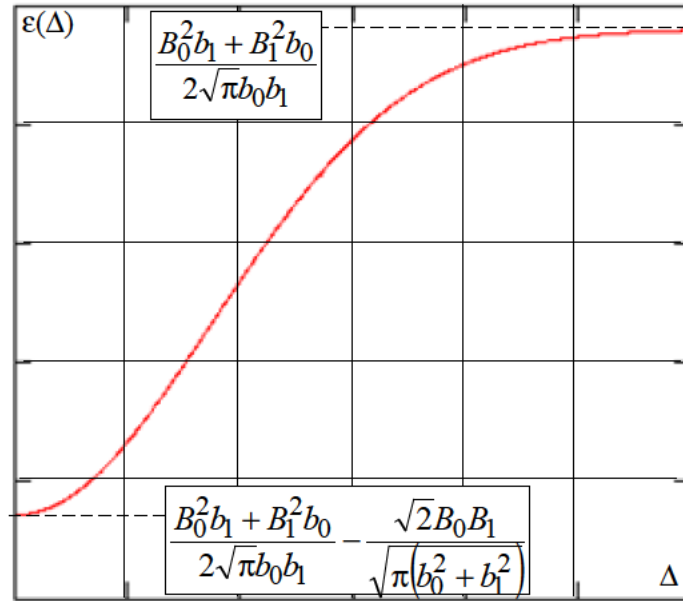


Рис. 1. Вид функции (5)

При минимизации (10) вследствие того, что импульсы помехи в базовой и  $n$ -й приводимой группе не перекрываются, значение ошибки для каждого  $l(0)$ -го,  $1 \leq l(0) \leq L(0)$  и  $l(n)$ -го  $1 \leq l(n) \leq L(n)$  гауссиана стремится к постоянной величине, определяемой значениями  $A_{l(0)}^0$ ,  $a_{l(0)}^0$ ,  $A_{l(n)}^n$ , и  $a_{l(n)}^n$ . При перекрытии гауссианов из группы  $f_0(t)$  с соответствующими гауссианами из группы  $f_n(t, \Delta_n)$  значение ошибки будет стремиться к минимуму при  $\Delta_n \rightarrow 0$ .

Задача совмещения начал отсчета с минимизацией ошибки  $\varepsilon(\Delta_n)$  может быть решена любым методом, например, методом последовательных приближений [7].

После совмещения точек отсчета осей аргументов сигнал базовой группы импульсов остается неизменным и имеет вид

$$s_0(t) = f_0(t) + g_0(t) = \sum_{k=1}^K \frac{A_k^0}{\sqrt{2\pi a_k^0}} \exp \left[ -\frac{(t - \tau_k)^2}{2(a_k^0)^2} \right] + \sum_{l(0)=1}^{L(0)} \frac{A_{l(0)}^0}{\sqrt{2\pi a_{l(0)}^0}} \exp \left[ -\frac{(t - \tau_{l(0)})^2}{2(a_{l(0)}^0)^2} \right]. \quad (11)$$

Импульсы приводимых групп оказываются смещенными относительно первоначального положения на величину  $-\Delta_n^*$ , которая является

оптимальной оценкой необходимой величины смещения, полученной за счет минимизации критерия  $\epsilon(\Delta_n)$ :

$$s_n(t) = f_n(t, \Delta_n - \Delta_n^*) + g_0(t - \Delta_n^*) = \sum_{k=1}^K \frac{A_k^n}{\sqrt{2\pi}a_k^n} \exp \left[ -\frac{(t - \tau_k - \Delta_n + \Delta_n^*)^2}{2(a_k^n)^2} \right] - \sum_{l(n)=1}^{L(n)} \frac{A_{l(n)}^n}{\sqrt{2\pi}a_{l(n)}^n} \exp \left[ -\frac{(t - \tau_{l(n)} + \Delta_n^*)^2}{2(a_{l(n)}^n)^2} \right]; \quad 1 \leq n \leq N. \quad (12)$$

Фильтрация импульсной помехи может быть произведена после приведения методом усреднения результатов из  $N + 1$  наблюдений [5]:

$$s(t) = \frac{\sum_{n=0}^N s_n(t)}{N+1} = \frac{1}{N+1} \sum_{n=0}^N \left\{ \sum_{k=1}^K \frac{A_k^n}{\sqrt{2\pi}a_k^n} \exp \left[ -\frac{(t - \tau_k + \Delta_n - \Delta_n^*)^2}{2(a_k^n)^2} \right] + \sum_{l(n)=1}^{L(n)} \frac{A_{l(n)}^n}{\sqrt{2\pi}a_{l(n)}^n} \exp \left[ -\frac{(t - \tau_{l(n)} - \Delta_n^*)^2}{2(a_{l(n)}^n)^2} \right] \right\}, \quad (13)$$

где  $\Delta_0 = \Delta_0^* = 0$ .

Если совмещение базовой и приводимых групп импульсов производится безошибочно,  $\Delta_n - \Delta_n^* = 0$ . В этом случае

$$s(t) = \frac{1}{N+1} \sum_{n=0}^N \left\{ \sum_{k=1}^K \frac{A_k^n}{\sqrt{2\pi}a_k^n} \exp \left[ -\frac{(t - \tau_k)^2}{2(a_k^n)^2} \right] + \sum_{l(n)=1}^{L(n)} \frac{A_{l(n)}^n}{\sqrt{2\pi}a_{l(n)}^n} \exp \left[ -\frac{(t - \tau_{l(n)} - \Delta)^2}{2(a_{l(n)}^n)^2} \right] \right\}. \quad (14)$$

Как видно из (14), после фильтрации полезный сигнал усредняется, а величина импульсной помехи уменьшается в  $N - 1$  раз.

Использование (14) для решения целевых задач не вполне удобно, вследствие громоздкости выражения, поэтому для получения окончательного результата фильтрации первое слагаемое выражения 14 должно быть аппроксимировано функцией Гаусса вида

$$h(t) = \frac{C}{\sqrt{2\pi}c} \exp \left[ -\frac{(t - \tau_k)^2}{2c^2} \right]. \quad (15)$$

Без нарушения общности для упрощения выкладок при аппроксими-

мации можно считать, что все гауссианы симметричны относительно оси ординат. В этом случае аппроксимация принимает вид

$$\frac{1}{N+1} \sum_{n=0}^N \frac{A_k^n}{\sqrt{2\pi}a_k^n} \exp\left[-\frac{t^2}{2(a_k^n)^2}\right] \cong \frac{C}{\sqrt{2\pi}c} \exp\left(-\frac{t^2}{2c^2}\right). \quad (16)$$

При аппроксимации по методу наименьших квадратов за счет вариации факторов  $C$  и  $c$ , определяющих величину и ширину аппроксимирующего импульса, соответственно, должна быть минимизирована ошибка

$$\epsilon(C, c) = \int_{-\infty}^{\infty} \left\{ \frac{1}{N+1} \sum_{n=0}^N \frac{A_k^n}{\sqrt{2\pi}a_k^n} \exp\left[-\frac{t^2}{2(a_k^n)^2}\right] - \frac{C}{\sqrt{2\pi}c} \exp\left(-\frac{t^2}{2c^2}\right) \right\}^2 dt. \quad (17)$$

В точке оптимума должны выполняться условия:

$$\begin{aligned} & \int_{-\infty}^{\infty} \left\{ \frac{1}{N+1} \sum_{n=0}^N \frac{A_k^n}{\sqrt{2\pi}a_k^n} \exp\left[-\frac{t^2}{2(a_k^n)^2}\right] - \frac{C}{\sqrt{2\pi}c} \exp\left(-\frac{t^2}{2c^2}\right) \right\} \times \\ & \quad \times \frac{1}{\sqrt{2\pi}c} \exp\left(-\frac{t^2}{2c^2}\right) dt = 0; \\ & \int_{-\infty}^{\infty} \left\{ \frac{1}{N+1} \sum_{n=0}^N \frac{A_k^n}{\sqrt{2\pi}a_k^n} \exp\left[-\frac{t^2}{2(a_k^n)^2}\right] - \frac{C}{\sqrt{2\pi}c} \exp\left(-\frac{t^2}{2c^2}\right) \right\} \times \\ & \quad \times \left[ \left(-\frac{C}{\sqrt{2\pi}c^2}\right) \exp\left(-\frac{t^2}{2c^2}\right) + \frac{C}{\sqrt{2\pi}c} \frac{t^2}{c^3} \exp\left(-\frac{t^2}{2c^2}\right) \right] dt = 0. \end{aligned} \quad (18)$$

Условия (18) дают следующую алгебраическую систему нелинейных уравнений для расчета  $C$  и  $c$ :

$$\begin{aligned} & \frac{1}{N+1} \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \sum_{n=0}^N \frac{A_k^n}{\sqrt{c^2 + (a_k^n)^2}} - \frac{C}{2\sqrt{\pi}c} = 0; \\ & \frac{1}{N+1} \frac{c}{\sqrt{2\pi}} \sum_{n=0}^N \frac{A_k^n}{\sqrt{[(a_k^n)^2 + c^2]^3}} - \frac{C}{4\sqrt{\pi}c^2} = 0. \end{aligned} \quad (19)$$

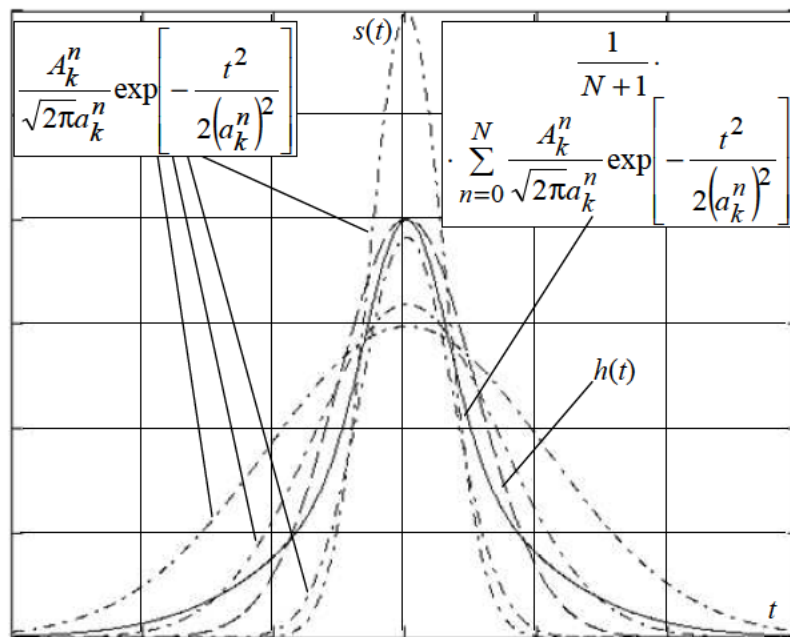
Из первого уравнения системы (19) может быть выражено значение  $\frac{C}{4\sqrt{\pi}c^2}$ :

$$\frac{1}{N+1} \cdot \frac{1}{2\sqrt{2\pi}c} \sum_{n=0}^N \frac{A_k^n}{\sqrt{c^2 + (a_k^n)^2}} = \frac{C}{4\sqrt{\pi}c^2}. \quad (20)$$

Подстановка полученного значения во второе уравнение дает

$$\sum_{n=0}^N \frac{A_k^n}{\sqrt{c^2 + (a_k^n)^2}} \frac{c^2 - (a_k^n)^2}{(a_k^n)^2 + c^2} = 0. \quad (21)$$

Из (21) может быть найдено значение  $c$ , подстановка которого в (20) позволяет вычислить  $C$ . В частном случае, когда условия наблюдения  $k$ -го импульса не меняется и выполняется равенство  $a_k^n = \text{const}_n = a_k$ , из (21) следует, что  $c = a_k$  и  $C = \frac{1}{N+1} \sum_{n=0}^N A_k^n$ . Аппроксимация множества наблюдаемых импульсов гауссианом показана на рис. 2.



**Рис. 2. Аппроксимация линейной комбинации гауссианов гауссианом  $h(t)$**

На рис. 2 штрихпунктирной линией обозначены составляющие линейной комбинации гауссианов, сплошной линией показана усредненная сумма гауссианов, а штриховой линией - результат аппроксимации.

Наряду с усредняющей процедурой (13) при фильтрации может быть применены и другие виды фильтрации, например, взвешенное усреднение, или медианная фильтрация [5].

Таким образом, выделение импульсного полезного сигнала, сопро-

воздаемого импульсной помехой может быть достаточно эффективно проведено с выполнением следующих операций: совмещения начал отсчета осей аргументов для различных экспериментов наблюдения, усреднения импульсов, относящихся к группе с подавлением импульсной помехи и аппроксимации импульсов с усредненной формой гауссианом по методу наименьших квадратов.

### Список литературы

1. Ларкин Е.В., Акименко Т.А., Лучанский О.А. Оценка «смаза» изображения в системе технического зрения мобильного колесного робота // Вестник РГРТУ. Рязань: РИЦ РГРТУ, 2008. С. 77 - 80.
2. Аршакян А.А., Ларкин Е.В. Определение соотношения сигнал-шум в системах видеонаблюдения // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 3. Тула: Изд-во ТулГУ, 2012. С. 168 - 175.
3. Аршакян А.А., Ларкин Е.В. Наблюдение целей в информационно-измерительных системах // Сборник научных трудов Шестой Всероссийской научно-практической конференции «Системы управления электротехническими объектами «СУЭТО-6» Тула: Изд-во ТулГУ, 2012. С. 222 - 225.
4. Аршакян А.А., Будков С.А., Ларкин Е.В. Математические модели точечных источников сигнала в полярной системе координат. // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 10. Тула: Изд-во ТулГУ, 2012. С. 163 - 168.
5. The Method of Multiframe Image Filtering // E.V. Larkin at al E.V., Abuzova I.V., Ignatyev V.M., Kotov V.V. // Machine Graphics & Vision: International Journal. Poland, 1998. Vol. 7. N 3. P. 645 – 654.
6. Купер Дж., Макгиллем Н. Вероятностные методы анализа сигналов и систем. М.: Мир, 1989. 379 с.
7. Аоки М. Введение в методы оптимизации. М.: Наука, 1977. 343 с.

*Аршакян Александр Агабегович канд. техн. наук, докторант, [elarkin@mail.ru](mailto:elarkin@mail.ru), Россия, Тула, Тульский государственный университет,*

*Луцков Юрий Иванович, канд. техн. наук, доц., [elarkin@mail.ru](mailto:elarkin@mail.ru), Россия, Тула, Тульский государственный университет*

*Новиков Александр Сергеевич, канд. техн. наук, [elarkin@mail.ru](mailto:elarkin@mail.ru), Россия, Тула, Тульский государственный университет*

MULTIFRAME FILTERING OF PULSE NOISE

A.A. Arshakyan, Yu.I. Lytskov, A.S. Novikov

*An approach to filtering of noise, formed with pulse sources, when a static scenes are observed. It is shown, that effective method of filtering of pulse noise is multiframe filtering. Method of optimal co-ordinates straighten out for multiframe filtering is proposed.*

*Key words: signal, point source, Gaussian, noise, scene, observation, multiframe filtering, co-ordinates straighten out, optimization.*

*Arshakyan Alexander Agabegovich, postgraduate, candidate of technical science, [elarkin@mail.ru](mailto:elarkin@mail.ru), Russia, Tula, Tula State University,*

*Lutskov Yuriy Ivanovich, docent, candidate of technical science, [elarkin@mail.ru](mailto:elarkin@mail.ru), Russia, Tula, Tula State University,*

*Novikov Alexander Sergeevich, candidate of technical science, [elarkin@mail.ru](mailto:elarkin@mail.ru), Russia, Tula, Tula State University*

УДК 621.383

## НАБЛЮДЕНИЕ ОБЪЕКТОВ В ДИСПЕРСНОЙ СРЕДЕ

А.А. Аршакян, С.А. Будков, С.В. Думчев, Ю.И. Луцков

*Исследуется вопрос построения импульсного отклика пары «среда распространения света/объектив». Показано, что наличие диспергента в среде распространения ухудшает разрешающую способность объектива. Определены параметры импульсного отклика объектива при его аппроксимации функцией Гаусса как при наличии, так и при отсутствии диспергента.*

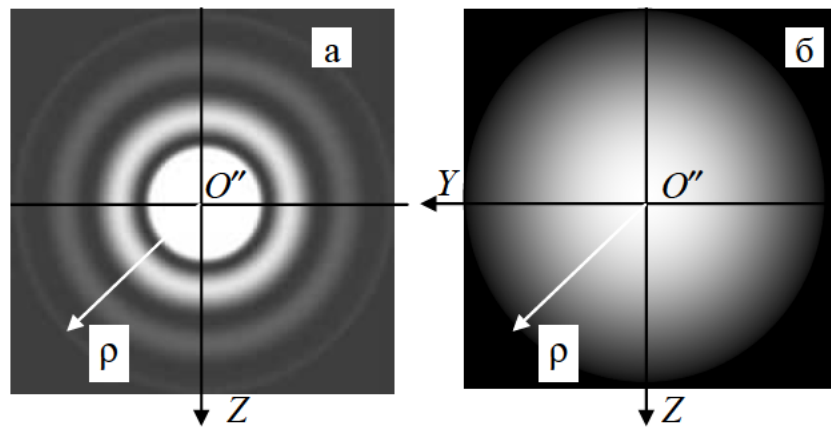
*Ключевые слова: оптическая система, световой поток, разрешающая способность, дифракция, изображение, диспергент.*

Одним из важных факторов, определяющих потребительские свойства оптических систем, является разрешающая их способность [1, 2], которая существенно зависит от условий эксплуатации системы [3].

Пространственная динамика объектива определяется двумя факторами:

- 1) дифракцией света от точечного источника в высококачественных объективах;
- 2) наличием технологических погрешностей при изготовлении объектива.

В первом случае точечный источник  $K$  проецируется на плоскость расположения фоточувствительных элементов в виде т.н. «кружка Эри», представляющего дифракционную картину точки [4]. Причиной подобного представления точки является волновая природа света. Вид кружка Эри приведен на рис. 1 а.



**Рис. 1. Изображение точки, обусловленное (а) - дифракцией (кружок Эри), (б) - погрешностями изготовления объектива (кружок рассеяния)**

Энергия изображения точки в центре  $O''$  поля зрения определяется функцией [4]

$$\left[ 2J_1\left(\pi \frac{\tilde{\sigma}\rho}{\lambda}\right) / \pi \frac{\tilde{\sigma}\rho}{\lambda} \right]^2, \quad (1)$$

где  $\tilde{\sigma}$  - относительное отверстие объектива;  $\lambda$  - длина волны электромагнитного излучения;  $\rho$  - полярная координата;  $J_1$  - функция Бесселя первого порядка первого рода [5].

Условно радиусом кружка Эри принято считать расстояние от центра  $O''$  до первого минимума интенсивности света между центральным пятном и первым кольцом. Этот радиус определяется выражением

$$\rho_{\text{кр}} = \frac{1,2197\lambda}{\tilde{\sigma}}, \quad (2)$$

т.е. в значительной мере зависит от спектрального состава электромагнитного излучения.

Формирование проекции изображения точки  $K$  для второго случая поясняется следующим образом [6]. Падающий световой поток при достаточно удаленной наблюдаемой точке можно представить в виде пучка параллельных лучей с плоским фронтом. Вследствие сферической аберрации пучки, идущие через разные радиусы входного зрачка объектива, дают изображения точки, расположенные в разных плоскостях, ортогональных главной оптической оси объектива. Наложение указанных изображений в плоскости расположения фоточувствительных элементов фотоэлектронного преобразователя формирует нерезкое пятно (рис. 1 б), называемое кружком рассеяния.

В первом приближении можно считать, что изображение точечного источника, описанного двумерной  $\delta$ -функцией Дирака  $\delta(Y, Z)$  представля-

ет собой круг, нормированный по объему, с резкой границей вида:

$$\tilde{w}_O(Y, Z) = \begin{cases} \frac{1}{\pi \rho_{кр}^2} & \text{при } Y^2 + Z^2 \leq \rho_{кр}^2; \\ 0 & \text{при } Y^2 + Z^2 > \rho_{кр}^2, \end{cases} \quad (3)$$

где  $Y, Z$  - декартовы координаты системы координат, сформированной в плоскости изображений, ортогональной главной оптической оси объектива;  $\tilde{w}_O(Y, Z)$  - импульсный отклик объектива при формировании изображения точки;  $\rho_{кр}$  - радиус кружка рассеяния.

Более точным приближением изображения точечного источника к реальному, представленному на рис. 1 б, является функция Гаусса, нормированная по объему:

$$w_O(Y, Z) = \frac{\kappa_O}{2\pi [b_O(\rho_{кр})]^2} \exp\left(-\frac{Y^2 + Z^2}{2[b_O(\rho_{кр})]^2}\right), \quad (4)$$

где  $b_O(\rho_{кр})$  - определяется из следующих условий: в точке  $(Y, Z) = (0, 0)$  аппроксимирующий и аппроксимируемый импульсный отклик создает одинаковые освещенности; объемы импульсных откликов одинаковы и равны единице.

С учетом приведенных условий будем иметь:

$$\frac{\kappa_O}{2\pi [b_O(\rho_{кр})]^2} = \frac{\kappa_O}{\pi \rho_{кр}^2}, \quad (5)$$

откуда следует, что  $b_O(\rho_{кр}) = 0,707\rho_{кр}$ .

Рассмотрим прохождение света от бесконечно удаленной точки  $K$  через среду, содержащую диспергент в виде микрочастиц влаги. При попадании света на микрочастицу диспергента имеют место явления поглощения, отражения, преломления, дифракции. Для суммарного эффекта от всех перечисленных явлений может быть построена индикатриса рассеяния  $I(\alpha)$ , вид которой приведен на рис. 2, где также показан механизм увеличения кружка рассеяния объектива.

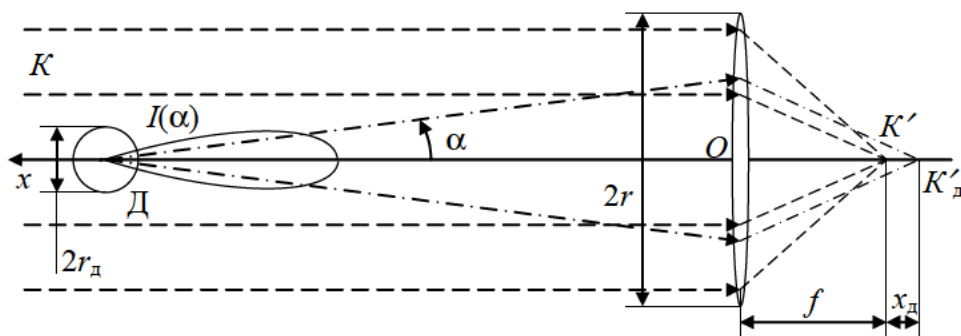


Рис. 2. Прохождение луча через частицу диспергента

На рис. 2 обозначено  $D$  - микрочастица диспергента;  $O$  - центр входного зрачка объектива;  $x$  - главная оптическая ось объектива, направленная на бесконечно удаленный точечный источник;  $2r$  - диаметр входного зрачка объектива;  $K'$  и  $K'_d$  изображения бесконечно точечного источника  $K$  в фокальной плоскости и сдвинутое, в результате прохождения диспергента, соответственно.

Появление микрочастицы диспергента в параллельном световом пучке вызывает два явления:

1) ослабление светового потока, состоящего из параллельных лучей и появление светового потока, исходящего из частицы диспергента  $D$ ;

2) изменение направления хода лучей и появление изображения точки  $K''_d$ , отстоящей от точки  $K'_d$  на величину  $x_d$ .

Обозначим концентрацию микрочастиц, приходящееся на единицу площади входного зрачка, в котором распространяется параллельный пучок, через  $\mu$  [ед./м<sup>2</sup>]. В том случае, если вероятность попадания микрочастиц на единицу площади зависит только от ее размеров, микрочастицы распределяются по площади независимо друг от друга, вероятность попадания на бесконечно малую элементарную площадь двух и более микрочастиц на порядок меньше, чем вероятность попадания одной микрочастицы, то вероятность попадания на единицу площади  $l$  частиц подчиняется закону Пуассона:

$$P_l = \frac{(\mu)^l}{l!} \exp(-\mu), \quad (6)$$

Луч света не попадет на микрочастицу и не будет ею преломлен с вероятностью

$$p_0 = \exp(-\mu). \quad (7)$$

Из (7) может быть получен известный закон Бугера-Ламберта-Бэра [8], согласно которому логарифм отношения световых потоков:  $\Phi$  - падающего на среду с концентрацией непрозрачного диспергента  $\mu$ , и  $\Phi'$  - прошедшего через нее - пропорционален концентрации диспергента  $\mu$ , т.е.

$$\lg \left[ \frac{\Phi}{\Phi'} \right] = \kappa_\mu \mu, \quad (8)$$

где  $\kappa_\mu$  - коэффициент пропорциональности.

При прохождении через микрочастицу диспергента световой поток ослабляется, во-первых, за счет поглощения его части в микрочастице, а во-вторых, за счет его виньетирования входным зрачком объектива (см. рис. 2, идиатриса  $I(\alpha)$ ).

Введем безразмерный коэффициент потерь в микрочастице диспергента  $\kappa_{\Phi 1}$ , такой, что  $\kappa_{\Phi 1} = 0$ , если весь свет после прохождения диспергента попадает во входной зрачок без потерь. Коэффициент  $\kappa_{\Phi 1} = 1$ , если

весь свет поглощается диспергентом.

С учетом введения коэффициента  $\kappa_{\Phi 1}$  следует, что соотношение световых потоков, падающего на среду с полупрозрачным диспергентом, и прошедшим через него, равно

$$\lg \left[ \frac{\Phi}{\Phi''} \right] = \kappa_{\mu} \kappa_{\Phi 1} \mu, \quad (9)$$

где  $\Phi'' \geq \Phi'$  - световой поток, прошедший через полупрозрачный диспергент.

Из (9) может быть получен поток на выходе из дисперсной среды и попадающий во входной зрачок объектива:

$$\Phi'' = \Phi \exp[-\kappa_{\mu} \kappa_{\Phi 1} \mu]. \quad (10)$$

Таким образом, световой поток, создающий освещенность в кружке рассеяния, состоит из двух составляющих: потока  $\Phi'$ , который прошел, минуя полупрозрачный диспергент, с величиной, определяемой по зависимости (9), и потока  $\Phi'' - \Phi'$ , который прошел через микрочастицы диспергента и попал во входной зрачок объектива. Первый поток создает кружок рассеяния, с радиусом, равным  $\rho_{кр}$ . Второй поток создает кружок рассеяния с радиусом  $\rho'_{кр}$ , который по размеру больше, чем приведенный в зависимости (3). Появление нового кружка рассеяния с большим радиусом обусловлено тем, что перед объективом, настроенным на создание в плоскости расположения фоточувствительных элементов фотоэлектронного преобразователя сфокусированного изображения точечного источника, появляется дополнительная распределенная линза, которая отдаляет фокус, и тем самым увеличивает радиус кружка рассеяния.

Увеличение радиуса кружка рассеяния за счет микрочастицы, находящейся в середине слоя среды распространения, содержащей диспергент, может быть оценено как

$$\Delta \rho_{кр} \approx \frac{fr}{a}, \quad (11)$$

где  $a$  - координата  $x$  середины слоя, содержащего диспергент;  $\frac{r}{a}$  [рад] - изменение угла между сфокусированным лучом и осью  $Ox$ .

Увеличенный кружок рассеяния равен

$$\rho'_{кр} = \rho_{кр} + \frac{fr}{a}. \quad (12)$$

Определим часть светового потока, прошедшего во входной зрачок через частицы диспергента, и создающие кружок рассеяния с радиусом  $\rho'_{кр}$ , как  $\Phi'' - \Phi'$ . Тогда освещенность, создаваемая частью светового потока, прошедшего во входной зрачок, минуя диспергент, и освещенность, создаваемая частью светового потока, прошедшего через частицы полу-

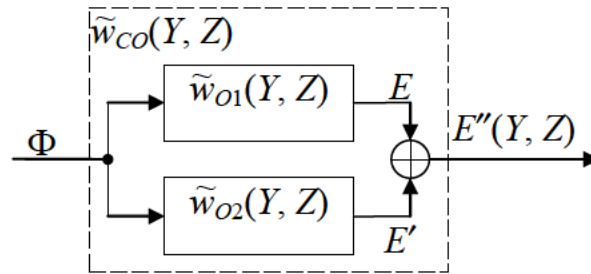
прозрачного диспергента, без учета потерь в объективе, определяются по зависимостям:

$$E = \frac{\Phi' \kappa_{\Phi}}{\pi \rho_{\text{кр}}^2} = \frac{\Phi \kappa_{\Phi} \exp(-\kappa_{\mu} \mu)}{\pi \rho_{\text{кр}}^2}; \quad (13)$$

$$E' = \frac{(\Phi'' - \Phi') \kappa_{\Phi}}{\pi \rho_{\text{кр}}'^2} = \frac{\Phi \kappa_{\Phi} [\exp(-\kappa_{\mu} \kappa_{\Phi 1} \mu) - \exp(-\kappa_{\mu} \mu)]}{\pi \rho_{\text{кр}}'^2}, \quad (14)$$

где  $\kappa_{\Phi}$  - коэффициент потерь света в объективе.

Таким образом, прохождение оптического сигнала через пару среда распространения/объектив может быть представлено в виде структурной схемы, приведенной на рис. 3.



**Рис. 3. Структурная схема прохождения оптического сигнала через пару среда распространения/объектив**

На рис. 3 приняты следующие обозначения:  $\tilde{w}_{O1}(Y, Z)$  - импульсный отклик объектива на часть потока, не прошедшего через микрочастицы диспергента;  $\tilde{w}_{O2}(Y, Z)$  - импульсный отклик объектива на часть потока, прошедшего через полупрозрачные микрочастицы диспергента, и попавшие во входной зрачок;  $\tilde{w}_{CO}(Y, Z)$  - суммарный импульсный отклик объектива на поток, попавший во входной зрачок;  $E$  - освещенность, создаваемая потоком, прошедшим во входной зрачок, минуя диспергент;  $E'$  - освещенность, создаваемая потоком, прошедшим во входной зрачок через диспергент;  $E''$  - суммарный световой поток, создаваемый в фокальной плоскости объектива.

Импульсный отклик пары дисперсная среда/объектив, нормированный по объему, может быть определен в виде:

$$\tilde{w}_{CO}(Y, Z) = \frac{1}{\pi(\rho_{\text{кр}}'^2 E''_{K\text{кр}} + \rho_{\text{кр}}^2 E'_{K\text{кр}})} \begin{cases} E + E' & \text{при } Y^2 + Z^2 \leq \rho_{\text{кр}}^2; \\ E' & \text{при } \rho_{\text{кр}}^2 \leq Y^2 + Z^2 \leq \rho_{\text{кр}}'^2; \\ 0 & \text{при } Y^2 + Z^2 > \rho_{\text{кр}}'^2. \end{cases} \quad (15)$$

Зависимость (15) может быть аппроксимирована функцией Гаусса:

$$w_{CO}(Y, Z) = \frac{1}{2\pi [b_{CO}(\rho_{кр}, \rho'_{кр}, \mu)]^2} \exp\left(-\frac{Y^2 + Z^2}{2[b_{CO}(\rho_{кр}, \rho'_{кр}, \mu)]^2}\right), \quad (16)$$

где  $b_{CO}(\rho_{кр}, \rho'_{кр}, \mu)$  - определяется из следующих условий: в точке  $(Y, Z) = (0, 0)$  аппроксимирующий и аппроксимируемый импульсный отклик создает одинаковые освещенности; объемы импульсных откликов равны (единице).

$$b_{CO}(\rho_{кр}, \rho'_{кр}, \mu) = \sqrt{\frac{\rho'^2_{кр} E' + \rho^2_{кр} E}{2}}, \quad (17)$$

где  $E$  и  $E'$  - определяются по зависимостям (13), (14) и являются функциями коэффициента  $\kappa_{Ф1}$  прозрачности и концентрации  $\mu$  диспергента;  $\rho'_{кр}$  - определяется по зависимостям (11), (12) и зависит от среднего расстояния от входного зрачка объектива до частиц диспергента, а также диаметра входного зрачка объектива.

Таким образом, получена методика, позволяющая определять основную характеристику объектива при использовании его в полевых условиях. В целом, увеличение радиуса кружка рассеяния объектива ухудшает возможности оптических систем по различению, например, двух точечных источников, за счет появления дополнительного пространственного фильтра, понижающего резкость и ухудшающего условия наблюдения точечных источников оптического сигнала.

### Список литературы

1. Аршакян А.А., Будков А.Н., Клещарь С.Н. Информационные потери, связанные с пространственной динамикой сканера // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 3. Тула: Изд-во ТулГУ, 2013. С. 383 - 388.
2. Папулис А. Теория систем и преобразований в оптике / Под ред. Алексеева В.И. М.: «Мир», 1971. 496 с.
3. Акименко Т.А., Ларкин Е.В., Лучанский О.А. Оценка «смаза» изображения в системе технического зрения мобильного колесного робота // Вестник РГРТУ. - Рязань: РИЦ РГРТУ, 2008. С. 77 - 80.
4. Демидов С.В. Синтез параметров оптико-электронного координатора цели с позиционно-чувствительным фотоприемником / Автореферат дисс. на соискание уч. степени к.т.н. Сп. 05.11.16. Тула: Изд-во ТулГУ, 2002. 20 с.
5. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. М.: Наука, 1973. 832 с.
6. Быстров Ю.А. Оптоэлектронные приборы и устройства: Учебное пособие для вузов. М.: Радио-Софт, 2001. 256 с.

7. Мак-Картни Э. Оптика атмосферы. М.: Мир, 1979. 470 с.

8. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике для инженеров и студентов вузов. М.: Наука, 1968. 940 с.

9. Будков С.А. Различение точечных источников в оптическом пеленгаторе // XXX Научная сессия, посвященная Дню радио. Тула: НТО РЭС им. А.С. Попова, 2012. С. 70 - 72.

*Аршакян Александр Агабегович, докторант, канд. техн. наук, [elarkin@mail.ru](mailto:elarkin@mail.ru), Россия, Тула, Тульский государственный университет,*

*Будков Сергей Анатольевич, асп., [elarkin@mail.ru](mailto:elarkin@mail.ru), Россия, Тула, Тульский государственный университет,*

*Думчев Сергей Викторович, асп., [electromusicfan@mail.ru](mailto:electromusicfan@mail.ru), Россия, Тула, Тульский государственный университет,*

*Луцков Юрий Иванович, канд. техн. наук, доц., [elarkin@mail.ru](mailto:elarkin@mail.ru), Россия, Тула, Тульский государственный университет*

#### MONITORING OBJECTS IN A DISPERSION ENVIROMENT

A.A. Arshakyan, S.A. Budkov, S.V. Dumchev, U.I. Lutskov

*The problem of forming of pulse response of “light distribution environment /lens” pair is considered. It is shown that a presence of dispersant in environment decreases a lens resolution. Parameters of Gaussian, as a lens pulse response function, both when absence, and when presence of dispersant are determined.*

*Key words: optical system, the light output, resolution, diffraction, image, dispersant.*

*Arshakyan Alexander Agabegovich, postgraduate, candidate of technical science, [elarkin@mail.ru](mailto:elarkin@mail.ru), Russia, Tula, Tula State University,*

*Butkov Sergey Anatolyevich, postgraduate, [elarkin@mail.ru](mailto:elarkin@mail.ru), Russia, Tula, Tula State University,*

*Dumchev Sergey Victorovich, postgraduate, [electromusicfan@mail.ru](mailto:electromusicfan@mail.ru), Russia, Tula, Tula State University,*

*Lutskov Yuriy Ivanovich, candidate of technical science, docent, [elarkin@mail.ru](mailto:elarkin@mail.ru), Russia, Tula, Tula State University*

УДК [622/016/62:622/268/13]/013:005/521

**ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ  
ПО УПРАВЛЕНИЮ СОСТОЯНИЕМ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ  
И ОЧИСТНЫХ ВЫРАБОТОК НА ОСНОВЕ  
КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ**

А.Б. Копылов, И.И. Савин, Э.М. Соколов, А.Е. Харламов

*Произведен анализ прогнозирования изменчивости горно-геологических условий для обоснованного принятия адекватных технико-технологических решений по управлению состоянием подготовительных и очистных выработок на основе комплексной оценки горно-геологических условий угольных месторождений.*

*Ключевые слова: горно-геологические условия, угольный пласт, прогнозирование, геометрическое моделирование, равновесные состояния.*

Требования угледобывающей промышленности к результатам геологической разведки месторождений и подготовке шахтных полей к сдаче в промышленное освоение постоянно возрастают в связи с усложнением горно-геологических условий, комплексной механизацией подготовительных и очистных горных работ, интенсификацией и концентрацией горного производства. Строительство и работа угледобывающих предприятий существенно зависит от объективности инженерных решений, принимаемых на основе имеющейся, обычно недостаточной, информации о геологических свойствах угольных пластов и вмещающих горных пород, определяющих горно-геологические условия добычи угля.

Результаты геологической разведки и их интерпретация в геологических отчетах обычно дают лишь самое общее представление о горно-геологических условиях, достаточное для решения вопросов проектирования шахт и карьеров, но их оказывается недостаточно для обоснования параметров, обеспечивающих оптимальную реализацию технологического процесса добычи угля. Требуется разработка методов прогнозирования горно-геологических условий на основе углубленного анализа геологоразведочной информации, установления и использования геологических закономерностей. Все это неизбежно связано с оперативной обработкой имеющихся и поступающих в процессе разработки пластов данных и предусматривает использование современной вычислительной техники.

Сложность и изменчивость горно-геологических условий определяются гипсометрическим положением угольных залежей, существенной изменчивостью мощности угольного пласта и его нарушенностью карстовыми процессами, зольностью угля, сложным и изменчивым как по простиранию, так и по мощности литологическим составом вмещающих пород, значительной обводненностью месторождений. Суммарное воздействие всех этих факторов определяет реальную производительность очистных забоев, модель которой может быть представлена изменчивой поверхностью, являющейся производной горно-геологических параметров разработки угольных пластов.

Горно-геологические характеристики угольных месторождений приобретают дополнительные преимущества, когда вместо описательной формы представления они выражаются количественными показателями, а в лучшем случае математическими или геометрическими моделями.

В настоящее время определилась общая схема решения задачи прогнозирования горно-геологических условий по данным разведки, основанная на использовании геологических закономерностей пространственного изменения свойств угольных пластов и вмещающих горных пород. Прогнозируемые свойства и их характеристики устанавливаются по эмпирическим зависимостям, полученным на основе исследований природной изменчивости свойств угольных месторождений на действующих шахтах и отработанных участках.

Прогнозирование эффективности добычи угля на шахте в форме нагрузок на очистные забои (НОЗ) основывается на математическом и геометрическом моделировании свойств угольных месторождений, контролирующих процессы современной механизированной отработки угольного пласта, в первую очередь таких, как мощность, зольность, гипсометрия, обводненность, строение пласта, условия его залегания, литологический состав почвы и кровли и т.п.

Каждое из свойств угольного пласта и вмещающих пород характеризуется пространственной изменчивостью параметров, которую необходимо выразить в количественной форме. Для этого использовались статистико-вероятностные методы, правомерность применения которых обоснована проверкой гипотез о случайности изменчивости геологических переменных методами анализа дихотомических последовательностей, предложенными в [1].

В качестве исходных моделей анализа изменчивости геологических переменных использовались частные реализации их действительных топофункций, построенные по ограниченной геологоразведочной информации [2].

Морфологическая изменчивость геологических переменных определяется, как минимум, двумя показателями - вариативностью значений признака относительно среднего уровня - амплитудная изменчивость и ко-

личеством перехода через среднее на единице длины сечения - частотная изменчивость.

В условиях, когда частная реализация топофункций построена по данным геологической разведки, частотная изменчивость не выявляется, а амплитудные изменения геологической переменной представляют собой выборку из возможной генеральной совокупности.

Анализ многочисленных фактических материалов показывает, что однородные блоки, выделенные по мощности угольного пласта пространственно, на 75-80 % совпадают с блоками по зольности и гипсометрии, что свидетельствует о генетической корреляции этих свойств угольного пласта.

При использовании плотной или площадной выборки для одной и той же модели количество элементов выборки может быть увеличено до бесконечности. Но веса интерполяционных значений по вероятности ниже весов значений переменной, измеренных непосредственно в скважинах. Поэтому точность оценок статистических показателей проверялась экспериментально по данным многовариантных площадных выборок одной модели топофункции и различных по изменчивости блоков.

Современная горная технология и уровень механизации процесса добычи угля обеспечивают эффективное проектирование разработки угольных месторождений в различных горно-геологических условиях. Минимальная себестоимость, полнота извлечения и высокое качество добываемого угля достигаются в тех случаях, когда принятые горнотехнические параметры соответствуют горно-геологическим условиям разработки. Однако обеспечить такое соответствие не всегда удается, так как исходные данные для проектирования горной технологии представляются в геологических отчетах и других предпроектных документах в усредненном виде, недостаточном для оптимального проектирования. Путь повышения информативности исходной геологоразведочной документации состоит в замене преимущественно описательных характеристик свойств угольных месторождений их количественным представлением в форме показателей изменчивости, математических и цифровых моделей и т.п.

Большинство из имеющихся в литературе способов выражения изменчивости проанализировано с точки зрения объективности и возможности использования в предпроектной обработке геологоразведочной информации применительно к условиям угольных месторождений на основе данных их разработки. Результаты этих исследований изложены в работе [2], где отмечено, что на основе исходной информации, количество которой не превышает уровня, соответствующего изучению месторождений на стадии геологической разведки, может быть использовано ограниченное число способов количественного описания изменчивости пространственных геологических переменных.

Задача повышения информативности результатов геологической

разведки не ограничивается лишь количественной характеристикой изменчивости свойств угольных месторождений. Она должна содержать и другие процедуры обработки данных определенной логической последовательности, составляющей законченный методический алгоритм.

Производится аналитическая статистическая обработка структурных горно-геологических планов в границах выделенных блоков для оценки и прогнозирования внутриблоковой изменчивости геологических признаков. Для этого используется специальная адаптированная к пространственным геологическим переменным методика организации и проведения статистического анализа внутриблоковых геометрических моделей. В результате по каждому блоку и по каждой геологической переменной получают значения показателей изменчивости, которые используются для выбора и обоснования горнотехнических параметров горной технологии.

В связи с разнообразием горно-геологических условий, контролирующую роль в образовании горно-геологических условий имеют разные геологические свойства месторождений. Поэтому необходимо ориентироваться на такие свойства, которые определяют сложность отработки угольных пластов и учитывать их с большим весом в интегральной характеристике горно-геологических условий - прогнозной нагрузке на очистной забой.

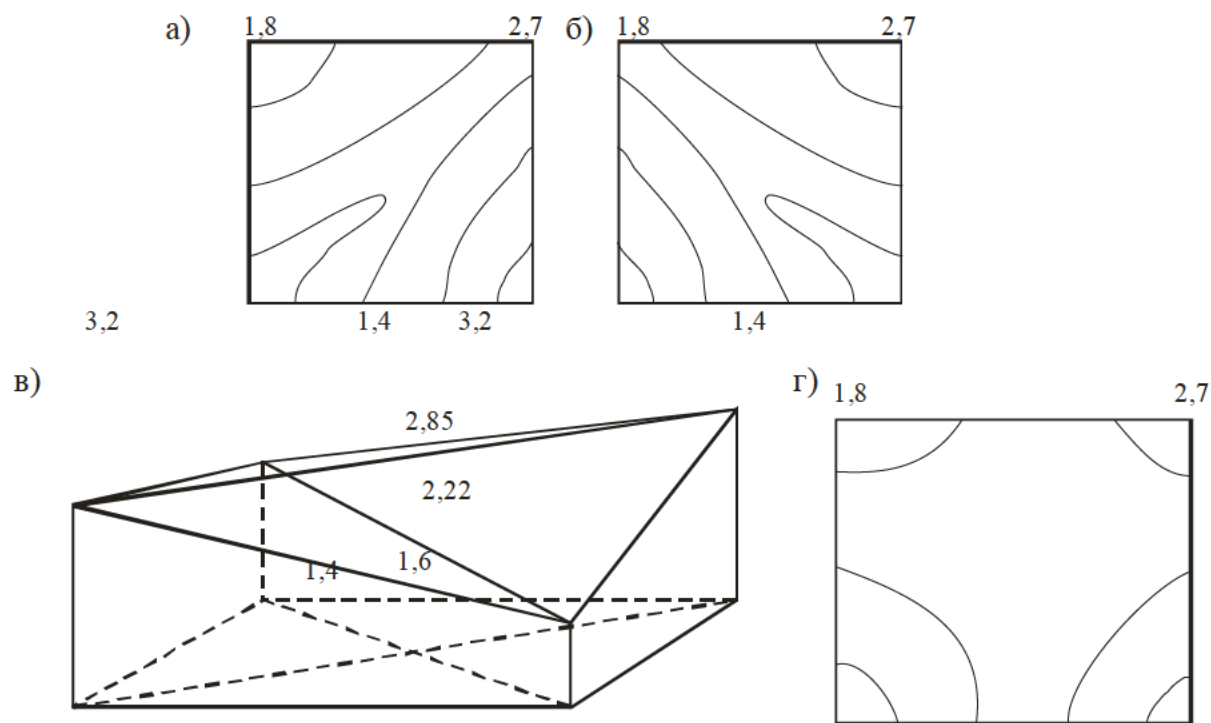
Часто предполагаемые морфологические структуры необходимо дополнительно разведать для уточнения их положения и формы. Обычно рядовые исполнители вовлекают в интерполяцию случайные диагональные промежутки, что вызывает неопределенность геометризации. В таком случае возможны совершенно противоположные результаты. В одном случае геометризации морфологический элемент получается положительным, во втором - отрицательным. Для обоснованного выбора диагонального промежутка невозможно использовать дополнительную информацию в окрестностях элементарной ячейки, так как в условиях частной реализации морфологические элементы действительной топофункции не прослеживаются в связи с тем, что их размеры меньше расстояний между скважинами. Поэтому интерполяция по любой диагонали вносит дезинформацию в морфологическую характеристику топофункции и необходимо минимизировать возможные искажения частной реализации.

Оптимизирующим критерием геометрического моделирования в условиях ограниченной геологоразведочной информации следует принять идею сплайновой функции, которая выражает наиболее гладкую поверхность, опирающуюся на интерполяционные точки.

Использование математического выражения поверхности геологической переменной в пределах элементарной ячейки необходимо для случая автоматизированной обработки в составе САПР-уголь в форме кусочно-непрерывной математической модели.

При обычном «ручном» моделировании построение линейчатой по-

верхности вида производится на основе линейной интерполяции только по сторонам квадрата или близкой к нему геометрической фигуры элементарной ячейки. На рис.1, г такая линейчатая поверхность представлена в изолиниях.



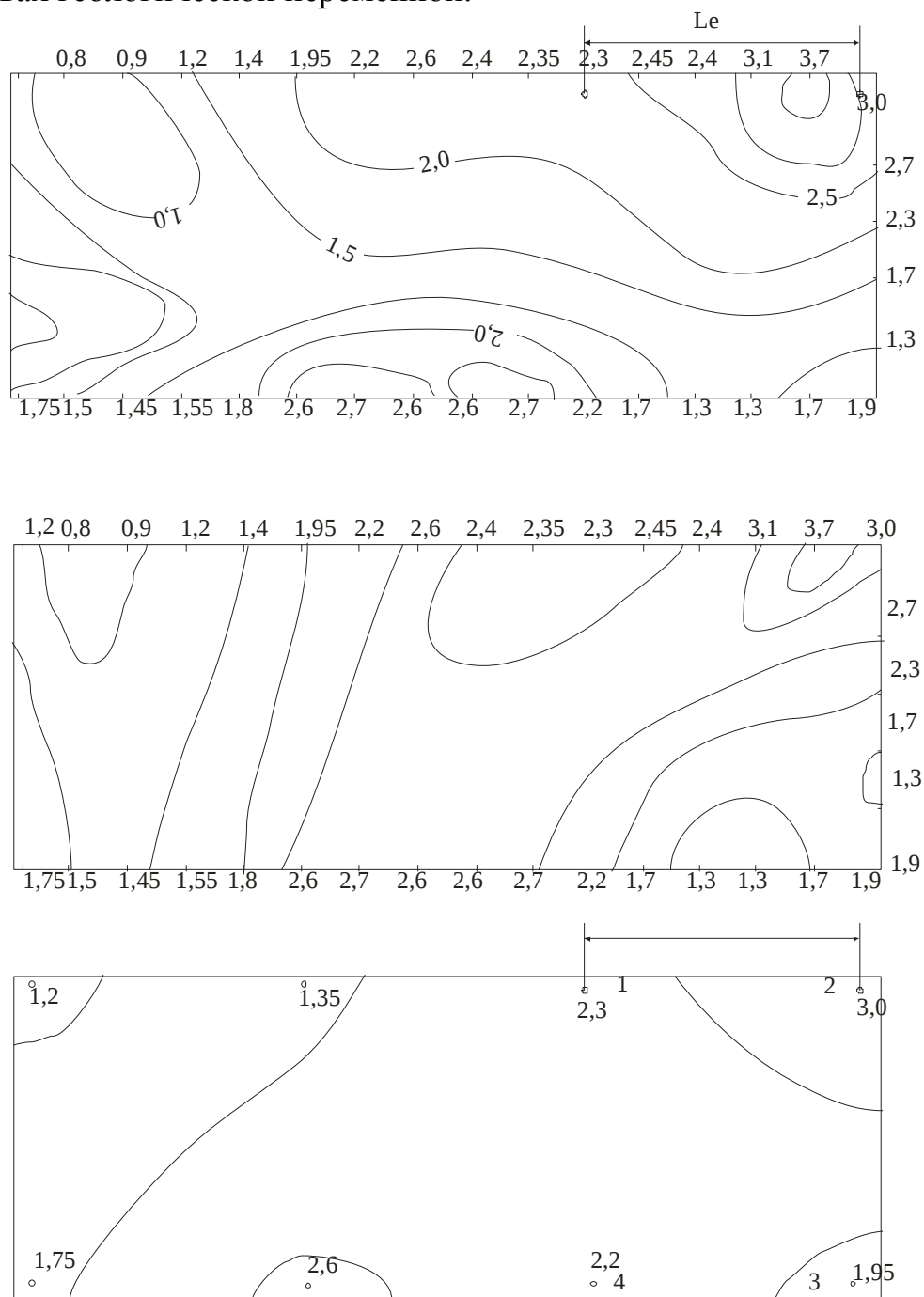
**Рис. 1. Геометризация признака в пределах квадратной элементарной ячейки**

В процессе геологической разведки моноклиальных тектонических структур расстояния между скважинами в направлении по падению угленосных отложений принимаются обычно меньшими по сравнению с расстояниями по простиранию. Такая система традиционно сложилась в Донецком и Кузнецком бассейнах из предложения о необходимости равномерного геологического изучения свойств угольных месторождений в моноклиальных структуру, где условия залегания с большим градиентом изменяются по падению пластов.

На рис. 2 приведена типичная схема размещения зондировочных скважин в выемочном столбе. Геометризация по данным зондировочного бурения содержит значительные искажения морфологии, несмотря на высокую плотность замеров по нарезным штрекам и в оконтуровке. Эти искажения, как правило, проявляются в искусственном вытягивании морфологических элементов в поперечном направлении.

Для повышения достоверности геометризации действительной топофункции и более полного использования исходной информации зондировочного бурения предлагается метод пространственной интерполяции.

Метод пространственной интерполяции возможно использовать только с применением ЭВМ. Таким образом, специальная геометризация в проекции на тренд является источником дополнительной информации о свойствах геологической переменной.



**Рис. 2. Действительная топофункция мощности и ее геометризация по данным зондировочного бурения с применением линейной (б) и пространственной интерполяции (в)**

Общими недостатками отмеченных исследований являлся также неполноценный учет технологических и физико-механических характери-

стик вмещающих пород, влияющих на выбор механизированного комплекса для конкретных горно-геологических условий, а даваемая прогнозная оценка динамики их изменения не позволяла в полной мере адаптировать технико-технологические характеристики механизированных комплексов к геометрическим характеристикам пласта, что в настоящее время, в связи с увеличением длины очистных забоев и размеров выемочных столбов, является особенно важным. Недостатком этих исследований являлось то, что они были адаптированы к локальным участкам угольного пласта при рассмотрении положения только одной секции крепи, т.е. задачи сводились к плоской постановке. Между тем, вследствие нерегулярной и разнонаправленной волнистости залегания пласта, практически все секции комплекса оказываются работающими в различных условиях. Отсюда существующие модели были сориентированы только на «среднестатистические» характеристики пласта. Для принятия рациональных технико-технологических решений по ведению горных работ необходимо иметь объективное представление о физико-механических, технологических и горно-геометрических характеристиках массива горных пород. Особенно важным при этом является учет их изменчивости в пределах шахтного поля или его участка. Это предопределяет необходимость использования теоретических методов, направленных на автоматизацию задач комплексной оценки горно-геологических условий залегания угольных пластов, прогнозирования условий ведения и проектирования подготовительных и очистных работ.

Стабильность показателей работы очистного забоя в немалой степени зависит от сохранения проектного пространственного положения всего механизированного комплекса. В связи с этим возникает задача оперативного контроля состояния секций, что требует создания метода автоматизированной обработки информации, полученной по результатам наблюдений в очистных забоях, в результате чего может осуществляться корректировка траекторий движения секций комплекса.

В настоящее время можно считать установленным и научно обоснованным положение о том, что технико-экономические показатели проведения и поддержания подготовительных выработок зависят от случайных факторов, в результате чего нарушается ритмичность ведения горно-подготовительных работ. В связи с этим необходимы новые подходы к разработке расчетных моделей, позволяющих получить статистический ряд значений месячной проходки штреков, как непрерывной случайной величины для заданных условий проведения, что позволит выбирать рациональные параметры технологии проведения выработок на основе сравнения технико-экономических показателей.

Анализ методов прогнозирования условий и проектирования параметров горных работ показал, что использование принятых предположений о механизме геомеханических процессов вокруг выработок, взаимо-

действии пород с горными крепями и проектировании очистных и подготовительных работ наталкивается на серьезные трудности. Сложность принятия адекватных технико-технологических решений усугубляется недостаточным учетом изменчивости горно-геометрических и технологических характеристик угольного пласта и вмещающих пород, так как вся объективная горно-геологическая информация сосредотачивается только вокруг разведочных скважин.

Таким образом, необходимы дополнительные исследования, направленные на автоматизацию задач комплексной оценки горно-геологических условий залегания угольных пластов, прогнозирования условий ведения и проектирования подготовительных и очистных работ. Вариант оперативного контроля пространственного положения механизированных комплексов и метод обработки получаемой информации, позволят по данным оперативной оценки и анализа положения секций крепи и конвейера, углов их взаимных поворотов и искривления в двух плоскостях по длине лавы принимать адекватные технико-технологические решения по управлению состоянием очистного комплекса в соответствии с проектными показателями.

Необходимо отметить, что уравнения равновесных состояний массива, ослабленного выработкой, отражающие связь между смещениями пород и реакциями крепи. При этом в общем случае данная связь выражается показательной функцией экспоненциального вида, а входящие в нее коэффициенты являются функциями влияющих факторов [3].

### Список литературы

1. Серегин Ю.И. Разведочная геостатика. В кн: Геология и разведка угольных месторождений. Тула, ТПИ, 1976. С. 14-31.
2. Методика геологического обоснования при проектировании горнотехнологического комплекса средствами САПР-уголь. Отчет НИР №85-333/ ТулПИ. Тула, 1985. 113 с.
3. Копылов А.Б. Обоснование параметров крепления подготовительных и очистных выработок на основе комплексной оценки горно-геологических условий угольных месторождений: дис. /д-ра техн. наук. Тульск. гос. Университет, Тула, 2006

*Копылов Андрей Борисович, д-р техн. наук, проф., Россия, Тула, Тульский государственный университет,*

*Савин Игорь Ильич, д-р техн. наук, проф., Россия, Тула, Тульский государственный университет,*

*Соколов Эдуард Михайлович, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой, Россия, Тула, Тульский государственный университет,*

Харламов Александр Евгеньевич канд. техн. наук, доц., Россия, Тула, Тульский государственный университет

**RATIONALE OF TECHNICAL AND TECHNOLOGICAL PARAMETERS FOR MANAGING THE STATE OF PREPARATORY AND TREATMENT WORKS BASED ON A COMPLEX ASSESSMENT OF GEOLOGICAL CONDITIONS**

A.B. Kopylov, I.I. Savin, E.M. Sokolov, A.E. Kharlamov

*The analysis predicting variability of geological conditions for an argued choice of technical and technological solutions for management of the condition of treatment and preparatory workings based on a complex assessment of geological conditions of coal deposits.*

*Key words: mining and geological conditions, coal seam, prediction of, geometric modeling, equilibrium states.*

Kopylov Andrey Borisovich, doctor of technical science, professor, [toolart@mail.ru](mailto:toolart@mail.ru), Russia, Tula, Tula State University,

Savin Igor Iljich, doctor of technical science, professor, [toolart@mail.ru](mailto:toolart@mail.ru), Russia, Tula, Tula State University,

Sokolov Eduard Mikhailovich, doctor of technical science, professor, manager of department, Russia, Tula, Tula State University,

Kharlamov Alexandr Evgenevich, candidate of technical science, docent, Russia, Tula, Tula State University

УДК 622.283.4

**РАСЧЕТ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МНОГОСЛОЙНОЙ ОБДЕЛКИ КОЛЛЕКТОРНЫХ ТОННЕЛЕЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МОНИТОРИНГА**

Н.С. Булычев, С.И. Копылов, А.Б. Копылов, И.М. Лавит

*В данной статье рассматривается подход к определению величин напряжений и деформаций в многослойной обделке тоннелей по результатам проведенных натурных измерений с целью оценки остаточной несущей способности обделки тоннеля.*

*Ключевые слова: тоннели, мониторинг, напряженно - деформированное состояние, обделка, несущая способность.*

Коллекторные тоннели является необходимым атрибутом современного города. Во многих городах эксплуатационная надежность действующих коллекторных тоннелей крайне низка.

Не прекращающиеся аварии коллекторных тоннелей вынуждают должностных лиц, а затем и специалистов уделять все большее внимание к поиску пути решения этой проблемы. Скудность местных бюджетов не позволяет своевременно устранять последствия таких аварий. В настоящее время на первый план выходит проблема прогноза аварий коллекторных тоннелей. Одним из способов осуществления такого прогноза является проведение постоянного мониторинга за работой обделки коллекторных тоннелей.

Предполагается, что на внешнем контуре многослойной круговой обделки тоннеля произведены измерения контактных радиальных напряжений в нескольких точках контура. Предполагается также, что на контактах смежных слоев обделки и обделки и окружающего массива существует «полный контакт». Целью расчета является определение напряженного – деформированного состояния многослойной обделки при нескольких измеренных (заданных) значениях радиальных напряжений и установление минимально необходимое число таких измерений.

Положим, что на внешнем контуре многослойной обделки определена величина радиальных напряжений в четырех различных точках.

Предположим, что на внешней поверхности многослойной обделки существует радиальное напряжение  $\sigma_r$ , которое можно представить в виде ряда:

$$\sigma_r = p_{0(p)} + p_{1(p)} \cos \theta + p_{1(p)}^* \sin \theta + p_{2(p)} \cos 2\theta, \quad (1)$$

где  $p_{0(p)}, p_{1(p)}, p_{1(p)}^*, p_{2(p)}$  - неизвестные коэффициенты реального радиального напряжения, формирующегося на внешнем контуре многослойной крепи.

Угол  $\theta$  в ряде (1) отсчитывается от направления главных напряжений в массиве пород против хода часовой стрелки.

Предположим, что под углом  $\alpha$  к направлению главных напряжений в массиве пород были измерены значения радиальных напряжений  $\sigma_r$  в четырех точках внешнего контура многослойной обделки при углах  $\theta_1 = 0^\circ$ ;  $\theta_2 = 90^\circ$ ;  $\theta_3 = 180^\circ$ ;  $\theta_4 = 270^\circ$ , значение которых в этих точках соответственно  $q_1, q_2, q_3, q_4$ .

Тогда на основании (1) можно записать:

$$q_i = p_{0(p)} + p_{1(p)} \cos(\theta_i - \alpha) + p_{1(p)}^* \sin(\theta_i - \alpha) + p_2 \cos 2(\theta_i - \alpha), \quad (2)$$

где  $i=1, 2, 3, 4$ .

Значения  $q_i$  ( $i=1, 2, 3, 4$ ) разложим в тригонометрические ряды Фурье для вычисления которых заменим интегралы в формулах Эйлера суммированием по правилу трапеций (формулы Бесселя), в результате получим:

$$p_k = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{2n-1} q_i \cos \frac{ik\pi}{n}, \quad (3)$$

$$p_k^* = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{2n-1} q_i \sin \frac{ik\pi}{n}, \quad (4)$$

где  $i=0, 1, \dots, 2n-1$  – число точек, в которых измерялась нагрузка. В нашем случае  $2n-1=3$ , значит  $n=2$ ;  $k=0, 1$  – порядковый номер коэффициента Фурье.

Заметим, что при определении коэффициентов Фурье по формулам (3) и (4) необходимо, чтобы число измерений было четно и проводилось с равным промежутком.

При найденных по формулам (3), (4) коэффициентах Фурье эпюра нагрузки  $\sigma_r$  аппроксимируется тригонометрическим полиномом вида:

$$q(\theta) = \frac{p_0}{2} + p_1 \cos \theta + p_1^* \sin \theta + \frac{p_2}{2} \cos 2\theta. \quad (5)$$

В (5) удобно вместо  $\frac{p_0}{2}$  и  $\frac{p_2}{2}$  писать просто  $p_0$  и  $p_2$ , тогда ряд (5) можно записать в виде:

$$q(\theta) = p_0 + p_1 \cos \theta + p_1^* \sin \theta + p_2 \cos 2\theta. \quad (6)$$

Если заданы значения  $q_1, q_2, q_3, q_4$  при углах  $\theta_1 = 0^\circ$ ;  $\theta_2 = 90^\circ$ ;  $\theta_3 = 180^\circ$ ;  $\theta_4 = 270^\circ$ , то члены ряда (6) определяются по формулам:

$$p_0 = \frac{q_1 + q_2 + q_3 + q_4}{4}, \quad (7)$$

$$p_1 = \frac{q_1 - q_3}{2}, \quad (8)$$

$$p_1^* = \frac{q_2 - q_4}{2}, \quad (9)$$

$$p_2 = \frac{q_1 - q_2 + q_3 - q_4}{4}, \quad (10)$$

В дальнейшем члены ряда (6) будем считать известными и полностью определяемыми выражениями (7) – (10), за исключением частных случаев, описанных ниже.

Заметим, что измеренные (заданные) значения  $q_1, q_2, q_3, q_4$  можно записать, используя как ряд (2), так и ряд (6).

Согласно (2) имеем:

при  $\theta_1 = 0^\circ$

$$q_1 = p_{0(p)} + p_{1(p)} \cos \alpha + p_{1(p)}^* \sin \alpha + p_{2(p)} \cos 2\alpha, \quad (11)$$

при  $\theta_2 = 90^\circ$

$$q_2 = p_{0(p)} + p_{1(p)} \sin \alpha + p_{1(p)}^* \cos \alpha - p_{2(p)} \cos 2\alpha, \quad (12)$$

при  $\theta_3 = 180^\circ$

$$q_3 = p_{0(p)} + p_{1(p)} \cos \alpha + p_{1(p)}^* \sin \alpha + p_{2(p)} \cos 2\alpha, \quad (13)$$

при  $\theta_4 = 270^\circ$

$$q_4 = p_{0(p)} - p_{1(p)} \sin \alpha - p_{1(p)}^* \cos \alpha - p_{2(p)} \cos 2\alpha. \quad (14)$$

Подставляя в (7) выражения (11) – (14) после несложных преобразований имеем:

$$p_0 = p_{0(p)}. \quad (15)$$

Подставляя в (8) выражения (11) – (14) после несложных преобразований имеем:

$$p_1 = p_{1(p)} \cos \alpha - p_{1(p)}^* \sin \alpha. \quad (16)$$

Подставляя в (9) выражения (11) – (14) после несложных преобразований имеем:

$$p_1^* = p_{1(p)} \sin \alpha + p_{1(p)}^* \cos \alpha. \quad (17)$$

Подставляя в (10) выражения (11) – (14) после несложных преобразований имеем:

$$p_2 = p_{2(p)} \cos 2\alpha. \quad (18)$$

Записав выражения (15) – (18) в виде системы из 4 уравнений имеем:

$$\begin{aligned} p_{0(p)} &= p_0, \\ p_{1(p)} \cos \alpha - p_{1(p)}^* \sin \alpha &= p_1, \\ p_{1(p)} \sin \alpha + p_{1(p)}^* \cos \alpha &= p_1^*, \\ p_{2(p)} \cos 2\alpha &= p_2. \end{aligned} \quad (19)$$

В системе (19), состоящей из 4 –х выражений существует 5 неизвестных, а именно  $p_{0(p)}$ ,  $p_{1(p)}$ ,  $p_{1(p)}^*$ ,  $p_{2(p)}$  и угол  $\alpha$ . Значения  $p_0$ ,  $p_1$ ,  $p_1^*$ ,  $p_2$  считаем известными.

Выделим из системы (19) два характерных уравнения и объединим их в новую систему:

$$\begin{aligned} p_{1(p)} \cos \alpha - p_{1(p)}^* \sin \alpha &= p_1, \\ p_{1(p)} \sin \alpha + p_{1(p)}^* \cos \alpha &= p_1^*. \end{aligned} \quad (20)$$

В системе (20), состоящей из двух уравнений три неизвестные  $p_{1(p)}$ ,  $p_{1(p)}^*$ , и угол  $\alpha$ , значит система (20) не до определена. Для того, чтобы решить эту систему мы должны задаться значением одной из неизвестных величин, т.е. должны ввести в расчет еще одно дополнительное условие.

Таких условий может быть три (по числу неизвестных). Рассмотрим эти условия.

**Условие № 1.** Полагаем, что эпюра реальных контактных напряжений  $\sigma_r$ , сформировавшаяся на внешнем контуре многослойной крепи имеет хотя бы одну ось симметрии. В этом случае можно положить:

$$p_{1(p)}^* = 0. \quad (21)$$

Тогда с учетом (21) система (20) примет вид:

$$p_{1(p)} \cos \alpha = p_1, \quad (22)$$

$$p_{1(p)} \sin \alpha = p_1^*.$$

$$\text{Откуда } \operatorname{tg} \alpha = \frac{p_1^*}{p_1}, \text{ а значит } \alpha = \operatorname{arctg} \frac{p_1^*}{p_1}. \quad (23)$$

Подставляя (23) в четвертое уравнение (19) имеем:

$$p_{2(p)} = \frac{p_2}{\cos 2\alpha}. \quad (24)$$

Заметим, что в формуле (24)  $\cos 2\alpha \neq 0$ , а значит

$$\alpha \neq \frac{\pi}{4} \pm \frac{\pi}{2} \quad n \quad (n = 0, 1, \dots, \infty). \quad (25)$$

Значит, реальные значения ряда  $\sigma_r = p_{0(p)} + p_{1(p)} \cos \theta + p_{2(p)} \cos 2\theta$ , при соблюдении условия № 1 могут быть определены по формулам:

$$\begin{aligned} p_{0(p)} &= p_0, \\ p_{1(p)} &= \frac{p_1}{\cos \alpha} = \frac{p_1^*}{\sin \alpha}, \\ p_{2(p)} &= \frac{p_2}{\cos 2\alpha}, \\ \alpha &= \operatorname{arctg} \frac{p_1^*}{p_1}. \end{aligned} \quad (26)$$

Причем, если  $\alpha = \frac{\pi}{4} \pm \frac{\pi}{2} n \quad (n = 0, 1, \dots, \infty)$  то член ряда

$\sigma_r = p_{0(p)} + p_{1(p)} \cos \theta + p_{2(p)} \cos 2\theta$  — определить невозможно, так как значения  $q_1 = q_4$  и  $q_2 = q_3$ , поэтому согласно (10)  $p_2 = 0$ , а согласно третьему уравнению системы (26) имеем:  $p_{2(p)} = \frac{p_2}{2 \cos 2\alpha} = \frac{0}{0}$ , т.е. возникает неопределенность. Для преодоления этой неопределенности целесообразно изменить значения  $q_2$  и  $q_4$ , т.е. произвести измерения не при уг-

лах  $\theta_2 = 90^\circ$  и  $\theta_4 = 270^\circ$ , а при других углах, например,  $\theta_2 = 120^\circ$  и  $\theta_4 = 300^\circ$ . Такое изменение в углах приведет к тому, что формулы (3) и (4) по определению коэффициентов Фурье должны быть изменены, потому что интервал интегрирования будет разбит на не равные промежутки. Случай, когда датчики измерения напряжений устанавливаются при произвольных углах будет рассмотрен ниже.

Заметим также, что если

$$\alpha = \pi n \ (n = 0, 1, \dots, \infty), \text{ то } p_{1(p)} = p_1. \quad (27)$$

$$\text{Если } \alpha = \frac{\pi}{2} n \ (n = 0, 1, \dots, \infty), \text{ то } p_{1(p)} = p_1^*. \quad (28)$$

**Условие № 2.** Полагаем, что эпюра реальных контактных напряжений  $\sigma_r$ , сформировавшаяся на внешнем контуре многослойной обделки имеет одну ось симметрии (частный случай условия № 1). В этом случае можно положить:

$$p_{1(p)} = 0. \quad (29)$$

Тогда с учетом (29) система (20) примет вид:

$$\begin{aligned} - p_{1(p)}^* \sin \alpha &= p_1, \\ p_{1(p)}^* \cos \alpha &= p_1^*. \end{aligned}$$

$$\text{Откуда } \operatorname{tg} \alpha = -\frac{p_1}{p_1^*}, \text{ а значит } \alpha = -\operatorname{arctg} \frac{p_1}{p_1^*}. \quad (30)$$

Подставляя (30) в четвертое уравнение (19) имеем:

$$p_{2(p)} = \frac{p_2}{\cos 2\alpha}. \quad (31)$$

Заметим, что в формуле (3.31)  $\cos 2\alpha \neq 0$ , а значит накладывается условие (25), а именно:

$$\alpha \neq \frac{\pi}{4} \pm \frac{\pi}{2} n \ (n = 0, 1, \dots, \infty).$$

Тогда реальные значения ряда  $\sigma_r = p_{0(p)} + p_{1(p)}^* \sin \theta + p_{2(p)} \cos 2\theta$  при соблюдении условия № 2 могут быть определены по формулам:

$$\begin{aligned} p_{0(p)} &= p_0, \\ p_{1(p)}^* &= -\frac{p_1}{\sin \alpha} = \frac{p_1^*}{\cos \alpha}, \\ p_{2(p)} &= \frac{p_2}{\cos 2\alpha}, \\ \alpha &= -\operatorname{arctg} \frac{p_1}{p_1^*}. \end{aligned} \quad (32)$$

Причем, если  $\alpha = \frac{\pi}{4} \pm \frac{\pi}{2}n$  ( $n = 0, 1, \dots, \infty$ ) то член ряда  $\sigma_r = p_{0(p)} + p_{1(p)}^* \sin \theta + p_{2(p)} \cos 2\theta - p_{2(p)}$  определить невозможно по тем же причинам, которые были указаны выше, при рассмотрении условия № 1.

Заметим также, что если

$$\alpha = \pi n \quad (n = 0, 1, \dots, \infty), \text{ то } p_{1(p)}^* = p_1^*. \quad (33)$$

$$\text{Если } \alpha = \frac{\pi}{2}n \quad (n = 0, 1, \dots, \infty), \text{ то } p_{1(p)}^* = -p_1^*. \quad (34)$$

**Условие № 3.** Предположим, что известно направление осей главных напряжений в массиве горных пород относительно которых производились измерения напряжений  $\sigma_r$ , т.е. известно значение угла  $\alpha$ .

Тогда решая систему (20) имеем:

$$p_{1(p)} = p_1 \cos \alpha + p_1^* \sin \alpha, \quad (35)$$

$$p_{1(p)}^* = p_1^* \cos \alpha - p_1 \sin \alpha.$$

Тогда реальные значения ряда  $\sigma_r = p_{0(p)} + p_{1(p)} \cos \theta + p_{1(p)}^* \sin \theta + p_{2(p)} \cos 2\theta$  при соблюдении условия № 3 могут быть определены по формулам:

$$p_{0(p)} = p_0,$$

$$p_{1(p)} = p_1 \cos \alpha + p_1^* \sin \alpha, \quad (36)$$

$$p_{1(p)}^* = p_1^* \cos \alpha - p_1 \sin \alpha,$$

$$p_{2(p)} = \frac{p_2}{\cos 2\alpha}.$$

Причем, если  $\alpha = \frac{\pi}{4} \pm \frac{\pi}{2}n$  ( $n = 0, 1, \dots, \infty$ ) то член ряда  $\sigma_r = p_{0(p)} + p_{1(p)} \cos \theta + p_{1(p)}^* \sin \theta + p_{2(p)} \cos 2\theta - p_{2(p)}$  определить невозможно по тем же причинам, которые были указаны выше, при рассмотрении условия № 1.

Заметим также, что если

$$\alpha = \frac{\pi}{4}n \quad (n = 0, 1, \dots, \infty), \text{ то } p_{1(p)}^* = 0. \quad (37)$$

Если реальный ряд нормальных контактных напряжений задан в усеченном виде, а именно  $\sigma_r = p_{0(p)} + p_{2(p)} \cos 2\theta$ , то решение (26) не совсем приемлемо, так как член ряда  $p_{2(p)}$  не возможно определить по третьей формуле (26), причем в этом случае члены фиктивного ряда  $p_1 = 0$

и  $p_1^* = 0$ , а значит система (26) вырождается  $p_{2(p)} = 0$ . В связи с этим предлагается для определения  $p_{2(p)}$  провести дополнительное измерение нагрузки (пятое измерение), которое следует провести под углом  $\theta_5$ , причем для определенности положим  $0^\circ < \theta_5 < 90^\circ$ , а интенсивность такой нагрузки обозначим через  $q_5$ . Заметим, что из – за большого количества осей симметрии ряда  $\sigma_r = p_{0(p)} + p_{2(p)} \cos 2\theta$  нам приходится иметь дело всего с тремя измерениями, а именно  $q_1$ ,  $q_2$  и  $q_5$ . В этом случае члены ряда  $\sigma_r = p_{0(p)} + p_{2(p)} \cos 2\theta$  и угол поворота главных осей напряжения определяется по следующим формулам:

$$\begin{aligned} p_{0(p)} &= \frac{q_1 + q_2}{2}, \\ \alpha &= 0,5 \arctg \left( \operatorname{ctg} 2\theta_5 - \frac{(q_5 - p_0)}{(q_1 - p_0)} \frac{1}{\sin 2\theta_5} \right), \\ p_{2(p)} &= \frac{q_1 - p_0}{\cos 2\alpha}. \end{aligned} \quad (38)$$

Если нагрузка представлена в виде ряда  $\sigma_r = p_{0(p)}$ , то в этом случае достаточно одного измерения нагрузки. При произвольном количестве произведенных измерений –  $n$ , величина которых  $q_i$ :

$$p_{0(p)} = \frac{\sum_{i=1}^n q_i}{n}. \quad (39)$$

Рассмотрим случай, когда количество измерений величин радиальных напряжений в многослойной крепи больше четырех.

Предположим, что на внешней поверхности многослойной крепи существует радиальное напряжение  $\sigma_r$ , которое можно представить в виде ряда:

$$\sigma_r = p_{0(p)} + p_{1(p)} \cos \theta + p_{1(p)}^* \sin \theta + p_{2(p)} \cos 2\theta. \quad (40)$$

где:  $p_{0(p)}$ ,  $p_{1(p)}$ ,  $p_{1(p)}^*$ ,  $p_{2(p)}$  – неизвестные коэффициенты реального радиального напряжения, формирующегося на внешнем контуре многослойной крепи.

Угол  $\theta$  в ряде (40) отсчитывается от направления главных напряжений в массиве пород по ходу часовой стрелки.

Предположим, что под углом  $\alpha$  к направлению главных напряжений в массиве пород были измерены значения радиальных напряжений  $\sigma_r$  в  $n$  ( $n$  – четно) точках внешнего контура многослойной крепи при произвольных углах  $\theta_i$  ( $i=1,2,...,n$ ) значение которых в этих точках соответст-

венно  $q_i (i=1,2,\dots,n)$ .

Значения  $q_i (i=1,2,\dots,n)$  разложим в тригонометрические ряды Фурье для вычисления которых заменим интегралы в формулах Эйлера суммированием по правилу трапеций (формулы Бесселя), в результате получим:

$$p_k = \frac{1}{\pi} \cdot \sum_{i=0}^{2n-1} q_i \cdot (\theta_{i+1} - \theta_i) \cdot \cos k\theta_i, \quad (41)$$

$$p_k^* = \frac{1}{\pi} \cdot \sum_{i=0}^{2n-1} q_i \cdot (\theta_{i+1} - \theta_i) \cdot \sin k\theta_i, \quad (42)$$

где  $i=0,1,\dots,2n-1$  – число точек, в которых измерялась нагрузка. В нашем случае  $2n-1 \geq 3$ , значит  $n \geq 2$ .

$k=0,1,2,\dots,\infty$  – порядковый номер коэффициента Фурье.

Заметим, что при определении коэффициентов Фурье по формулам (41) и (42) необходимо, чтобы число измерений было четно.

При найденных по формулам (41), (42) коэффициентах Фурье эпюра нагрузки  $\sigma_r$  аппроксимируется тригонометрическим полиномом вида:

$$q(\theta) = \frac{p_0}{2} + \sum_{k=1}^{2n-1} (p_k \cdot \cos \theta + p_k^* \cdot \sin \theta) + \frac{p_n}{2} \cdot \cos n\theta \quad (43)$$

Затем расчет сводится к вычислению по формулам (41) – (43) значений  $q_1, q_2, q_3, q_4$  при углах  $\theta_1 = 0^\circ$ ;  $\theta_2 = 90^\circ$ ;  $\theta_3 = 180^\circ$ ;  $\theta_4 = 270^\circ$ , которые в дальнейшем считаем известными. После этого расчет ведется по формулам и в последовательности изложенной выше.

На основании определенных на внешней поверхности многослойной обделки радиального напряжения  $\sigma_r$ , определим контактные касательные напряжения, которые описываются рядом следующего вида:

$$q = q_{1(p)} \cdot \sin \theta + q_{1(p)}^* \cdot \cos \theta + q_{2(p)} \cdot \cos 2\theta. \quad (44)$$

На основании условий равновесия имеем:

$$q_{1(p)} = p_{1(p)}, \quad (45)$$

$$q_{1(p)}^* = -p_{1(p)}^*. \quad (46)$$

Для определения величины  $q_{2(p)}$  необходимо рассмотреть напряженно – деформированное состояние многослойной обделки, расположенной в тектоническом поле начальных напряжений. Величина главных тектонических напряжений, приложенных на бесконечности под углом  $90^\circ$  друг к другу, соответственно составит  $\alpha^* N_1$  и  $\alpha^* N_2$ . Здесь  $\alpha^*$  – корректирующий множитель.

Величины напряжений на внешнем контуре многослойной крепи с величинами главных тектонических напряжений связаны соотношениями:

$$\begin{aligned} p_{0(p)} &= \frac{\alpha^* N_1 + \alpha^* N_2}{2} K_{0(n)}, \\ p_{2(p)} &= \frac{\alpha^* N_1 - \alpha^* N_2}{2} K_{11(n)}, \\ q_{2(p)} &= \frac{\alpha^* N_1 - \alpha^* N_2}{2} K_{21(n)}. \end{aligned} \quad (47)$$

Здесь  $K_{0(n)}$ ,  $K_{11(n)}$ ,  $K_{21(n)}$  - коэффициенты передачи через бесконечный слой, который моделирует массив пород и определяется в соответствии с [1].

Откуда находим:

$$q_{2(p)} = \frac{p_{2(p)}}{K_{11(n)}} K_{21(n)}. \quad (48)$$

После определения радиальных и касательных напряжений производится расчет перемещения внутреннего контура обделки по известным формулам [1, 2]. Расчетная величина таких перемещений сравнивается с измеренными перемещениями в результате обследования коллекторного тоннеля. Совпадение величин таких перемещений является контролем достоверности полученных результатов.

### Список литературы

1. Булычев Н.С. Механика подземных сооружений. М: Недра, 1982 270 с.

2. Копылов С.И. Расчет многослойной крепи выработки круглого сечения при общем виде нагружения// Механика подземных сооружений. Тула, ТПИ, 1985. С. 43-55.

*Булычев Николай Спиридонович, д-р техн. наук, проф., Россия, Тула, Тульский государственный университет,*

*Копылов Андрей Борисович, д-р техн. наук, проф., [toolart@mail.ru](mailto:toolart@mail.ru), Россия, Тула, Тульский государственный университет,*

*Копылов Сергей Иванович, канд. техн. наук, доц., Россия, Тула, Тульский государственный университет,*

*Лавит Игорь Михайлович, д-р техн. наук, проф., Россия, Тула, Тульский государственный университет*

### CALCULATION OF THE STRESS-STRAIN STATE OF MULTILAYER LINING SEWER TUNNELS BASED ON THE MONITORING RESULTS

N.S. Boulichev, S.I. Kopylov, A.B. Kopylov

*This article discusses the approach to the determination of the stresses and strains in the multilayer lining tunnels based on the results of conducted nature measurements in order to estimate the residual load-bearing capacity of the tunnel lining.*

*Key words: tunnel, monitoring, stress-strain with-standing, lining, load capacity.*

*Bulychev Nikolai Spiridonovich, doctor of technical science, professor, Russia, Tula, Tula State University,*

*Kopylov Andrey Borisovich, doctor of technical science, professor, [toolart@mail.ru](mailto:toolart@mail.ru), Russia, Tula, Tula State University,*

*Kopylov Sergei Ivanovich, candidate of technical science, docent, Russia, Tula, Tula State University,*

*Lavit Igor Mihajlovich, doctor of technical science, professor, Russia, Tula, Tula State University*

УДК 622.23

## **РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ЭФФЕКТИВНОГО ОСВОЕНИЯ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ, С УЧЕТОМ УХУДШАЮЩИХСЯ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ**

**А.Б. Копылов, Э.М. Соколов, А.Е. Харламов**

*Вероятностно-статистического метода Байеса используется в модели прогнозирования технико-экономических показателей проведения выработок, что позволяет количественно и качественно оценить влияние факторов на проведение работ и обеспечить реальное планирование.*

*Ключевые слова: статистика, метод Байеса, математическая модель, угольный пласт, горные выработки, горно-геологическими факторами.*

Необходимость повышения интенсивности очистной выемки придала огромное значение повышению эффективности проведения горных выработок. Все эти и многие другие вопросы могут быть решены за счет совершенствования методики прогнозирования показателей проведения работ на основе вероятностно-статистической модели.

Анализ проведения выработок показывает, что по технико-экономическим показателям технология ведения горных работ освоена

только на 50%. Это свидетельствует о недостаточном применении прогрессивных технико-технических решений и формальном планировании темпов проведения выработок.

Применение вероятностно-статистического метода для прогнозирования проявлений горного давления в подготовительных выработках впервые осуществлено проф. И.Л.Черняком и его коллегами. Однако для решения технологических задач указанный метод не нашел применения, хотя он обладает рядом преимуществ и может оказаться весьма эффективным, так как позволяет оценивать влияние не только количественных, но и качественных показателей. Учитывая сказанное, на основании анализа имеющихся исследований была поставлена цель по разработке методики прогнозирования технико-экономических показателей проведения выработок на основе вероятностных закономерностей.

Для решения поставленной задачи предлагается использование вероятностно-статистического метода Байеса для создания модели прогнозирования технико-экономических показателей проведения выработок, что позволяет количественно и качественно оценить влияние факторов на проведение работ и обеспечить реальное планирование.

В результате проделанной работы установлено,

- что основные геомеханические показатели являются случайными величинами, зависящими от сочетания горнотехнических и горно-геологических факторов, поэтому прогнозирование и планирование горных работ должно производиться на основе вероятностно-статистического подхода;

- разработана методика автоматизированного расчета, позволяющая определять смещения пород и возникающие нагрузки в выработках не только Подмосковного, но и Донецкого бассейна;

- разработана вероятностно-статистическая модель, в основу которой положен метод Байеса, отличающийся тем, что прогнозируемые величины входящих в нее параметров зависят от вероятностей их попадания в каждый из рассматриваемых интервалов с учетом влияния горнопроходческих, горно-геологических, организационно-технических и горнотехнических факторов рассматриваемых как случайные величины.

Результатом работы является пакет прикладных программ, позволяющий производить прогноз исследуемой величины. На рис.1. представлено окно работы программы.

На следующем этапе расчет параметров происходит либо по методу ВНИМИ, рис.2, либо вероятностным методом – рис.3. При выполнении работы использованы методы теории вероятностей и математической статистики, математическое моделирование на ЭВМ, а также оценка сходимости результатов моделирования с фактическими данными.

| Введите данные для расчета |                                                            |      |                                                   |
|----------------------------|------------------------------------------------------------|------|---------------------------------------------------|
| 800                        | Глубина $H$ , м                                            | 0,21 | Модуль упругости $E_k$ , МПа                      |
| 1,52                       | Мощность пласта $m$ , м                                    | 0,17 | Коэффициент Пуассона                              |
| 2,3                        | Мощность пород $m_n$ , м                                   | 17   | Расстояние от очистного забоя $l$ , м             |
| 7                          | Площадь поперечного сечения выработки $S$ , м <sup>2</sup> | 15   | Время $t$ , сут                                   |
| 1                          | Материал крепи (1-дерево, 2-металл)                        | 7    | Ширина бутовой полосы $l_b$ , м                   |
| 2                          | Управление кровлей (1-обрушение, 2-част.закладка)          | 7    | Ширина бутовой полосы $l_{в.п.}$ , м              |
| 55                         | Скорость продвижения очистного забоя $V$ , м/мес           | 216  | Длина очистного забоя $L$ , м                     |
| 20                         | Сопротивление сжатию, Сигма, МПа                           | 2    | Порода (1-гл. сланец, 2-песч. сланец, 3-песчаник) |

Рис. 1. Окно работы программы. Ввод данных для расчета

Определение смещений

Результат расчета смещений: 1054,5000000000000000

Определение нагрузки на крепь

Результат расчета нагрузки: 2133,9000000000000000

Рис. 2. Окно работы программы. Расчет по методу ВНИМИ

РАСЧЕТ СМЕЩЕНИЙ ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

ДЛЯ НАЧАЛА РАСЧЕТА НАЖМИТЕ ОДНУ ИЗ СЛЕДУЮЩИХ КНОПОК

|                                     |                                           |                                          |
|-------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------|
| Смещение пород кровли сопряжений    | Смещение пород почвы сопряжений           | Смещение кровли "бут. полоса-массив"     |
| Смещение почвы "бут. полоса-массив" | Смещение кровли "бут. полоса-бут. полоса" | Смещение почвы "бут. полоса-бут. полоса" |

Результаты расчета: СМЕЩЕНИЕ ПВ 200-300

|     |                   |     |                   |     |                   |     |                   |
|-----|-------------------|-----|-------------------|-----|-------------------|-----|-------------------|
| Pi1 | 0,000004290500000 | Pi2 | 0,000057452000000 | Pi3 | 0,000401480000000 | Pi4 | 0,000003424600000 |
|-----|-------------------|-----|-------------------|-----|-------------------|-----|-------------------|

Сумма  $P_{ij}$ : 0,000466440000000

Рис. 3. Окно работы программы. Расчет по методу ВНИМИ

В результате можно сделать вывод, что основными горно-геологическими факторами, влияющими на технологию проведения выемочных штреков, являются: глубина заложения угольного пласта, геологическое строение толщи пород, слагающих основную и непосредственную кровлю угольного пласта, состав пород почвы, обводненности участков, физико-механические свойства угля и вмещающих пород, мощность угольного пласта, характер гипсометрии почвы пласта и наличие геологических нарушений. Кроме того, весьма существенно влияние горнотехнических факторов, таких как угол наклона выработки, площадь сечения выработок, характер забоя (угольный, смешанный, породный), степень присечки и коэффициент крепости пород.

### Список литературы

1. Крепление горных выработок угольных шахт: учебно – научное изд. в трех томах. Том 1 // под общ. ред. В.Н. Каретникова, В.А. Потапенко, В.Е. Савченкова. Москва-Тула, 1999. 464 с.

*Копылов Андрей Борисович, д-р техн. наук, доц., проф., [toolart@mail.ru](mailto:toolart@mail.ru), Россия, Тула, Тульский государственный университет,*

*Соколов Эдуард Михайлович, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой, Россия, Тула, Тульский государственный университет,*

*Харламов Александр Евгеньевич канд. техн. наук, доц., кафедры, Россия, Тула, Тульский государственный университет*

#### **THE DEVELOPMENT OF TECHNOLOGICAL SOLUTIONS IN EFFECTIVE DEVELOPMENT OF COAL DEPOSITS, INCLUDING THE CASE OF THE DETERIORATING GEOLOGICAL CHARACTERISTICS**

*A.B. Kopylov, E.M. Sokolov, A.E. Kharlamov*

*Probability-statistical Bayes's method is used in forecasting models of technical and economic characteristics of the workings, which allows to quantitatively and qualitatively estimate the influence of the factors on work and provide real planning.*

*Key words: statistics, Bayesian method, a mathematical model, the coal seam, mining, mining and geological factors.*

*Kopylov Andrey Borisovich, doctor of technical science, professor, [toolart@mail.ru](mailto:toolart@mail.ru), Russia, Tula, Tula State University,*

*Sokolov Eduard Mikhailovich, doctor of technical science, professor, manager of department, Russia, Tula, Tula State University,*

*Kharlamov Alexandr Evgenevich, candidate of technical science, docent, Russia, Tula, Tula State University*

## ОЦЕНКА ОТДЕЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВЛИЯЮЩИХ НА ПОДЗЕМНУЮ И НАЗЕМНУЮ ГАЗИФИКАЦИЮ ТВЕРДЫХ ТОПЛИВ

Р.А. Ковалев, И.В. Кононенко

*Представлен процесс подземной газификации, протекающий по длине реакционного канала, рассмотрен прямой и обращенный процесс газификации наземной газификации твердых топлив. Кроме режимов процесса газификации, принимая во внимания геологические характеристики залегания угля, указана необходимость оценить влияние шага заложения скважин и объемный расход дутья.*

*Ключевые слова: динамика газообразования, теплотворность газа, гидравлическое сопротивление, газификация углей, фильтрационные потоки.*

Систематическая добыча в Подмосковном угольном бассейне продолжалась более 150 лет. На сегодняшний день общие геологические ресурсы составляют 11 млрд. т. Балансовые запасы  $A+B+C_1$  - 4098 млн. т,  $C_2$  - 1024 млн. т, забалансовые - 1843 млн. т. В угленосной песчано-глинистой толще содержится до 14 пластов и прослоев угля, из которых разрабатывался обычно один, реже два пласта мощностью 1,5—3,0 м. Угли бурые технологической группы Б2, преимущественно гумусовые, высокозольные и с повышенным содержанием серы. [2]

В среднем по бассейну для углей характерны следующие показатели: содержание влаги — 32,5%, зольность — 31%, содержание серы — 3%, выход летучих на горючую массу — 46%, теплота сгорания на горючую массу — 28,2 МДж/кг (6750 ккал/кг), низшая теплота сгорания рабочего топлива — 11,4 МДж/кг (2720 ккал/кг). Обводненность месторождений значительная. [3]

Разработка месторождений велась в основном подземным способом, а с 1957 г. месторождения с вскрышей до 40 м. разрабатывались открытым способом. С 1939 г. и до 70-х годов прошлого столетия проводились работы по подземной газификации углей (ПГУ). Использование топлива методом ПГУ возможно и в тех случаях, когда разработка угольного месторождения шахтным способом нерентабельна. Имея значительные забалансовые запасы твердого топлива в центральном, промышленно развитом, регионе данная технология определенно будет востребована при благоприятной экономической ситуации, использовании современных технических возможностей и совершенствовании технологии применительно к конкретным геологическим условиям. [4]

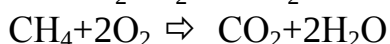
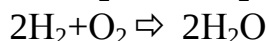
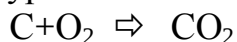
По данной технологии в СССР работали три станции - Ангренская - на бурых углях Средней Азии, Шатская - на бурых углях Подмосковского бассейна и Южно-Абинская - на каменных углях Кузбасса, которые в 70-х

годах производили около 1,5 млрд. м<sup>3</sup> энергетического газа в год. В частности, подземная газификация угля в 1954 году осуществлялась на Шатской станции "Подземгаз" институтом ВНИИПодземгаз.

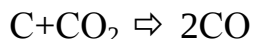
Идея превращения угля в горючие газы с помощью свободного или связанного кислорода непосредственно в недрах земли принадлежит Д. И. Менделееву (1888). С 1930 в СССР начались исследования в данной области, а в конце 1933 учёными И. Е. Коробчанским, В. А. Матвеевым, В. П. Скафа и Д. И. Филипповым было предложено проводить ПГУ в горизонтальном канале при подготовке газогенератора шахтным способом. Для создания в пласте необходимых реакционных каналов использовались: прожиг каналов с помощью кислорода, гидравлический разрыв пласта, электрический ток и направленное бурение скважин по угольному пласту. В каналах газификации формируются реакционные зоны и начинается процесс газификации, который ведётся обычно на воздушном дутье. Химические реакции, протекающие в каналах подземной газификации, аналогичны газогенераторному процессу. Кислород, взаимодействуя в зоне горения, реагирует с массивом угля, который в результате повышения температуры изменяет свои, в том числе и фильтрационные свойства. Основные фильтрационные потоки направлены вдоль напластования угольной массы по реакционному каналу, который должен, для уменьшения потерь угля, проходить в начале процесса по подошве пласта. [6]

Условно можно выделить три зоны – горения, восстановления и конверсии. Образовавшиеся в окислительной зоне углекислота и пары воды в зоне восстановления реагируют с углеродом топлива по следующим реакциям.

Зона горения (температура повышается до 1300-1500<sup>0</sup>С)



Зона восстановления (температура понижается от 1300-1500<sup>0</sup>С до 800-900<sup>0</sup>С)



Зона конверсии (температура понижается от 800-900<sup>0</sup>С до 500-600<sup>0</sup>С)



В восстановительной зоне при понижении температуры до 700-800<sup>0</sup>С реакции восстановления CO<sub>2</sub> и разложения H<sub>2</sub>O практически прекращаются, а образовавшийся газ незначительно обогащается за счет летучей части топлива в зоне сухой перегонки. В данной зоне протекает реакция конверсии CO.

Рассматривая гетерогенный процесс газификации, протекающий по

длине реакционного канала необходимо отметить, что неравномерность расхода углерода топлива приводит к искривлению линии огневого забоя. Газы сухой перегонки проходят раскаленный коксовый слой, в результате чего продукты сухой перегонки (смола, непредельные углеводороды) разлагаются до  $\text{CH}_4$  и  $\text{H}_2$ , а в зоне горения сжигаются за счет кислородного дутья. При реверсе дутья зона горения становится зоной сухой перегонки с минимальной температурой, где не могут идти процессы сухой перегонки и обогащения газа за счет этих продуктов.

По мере выгазовывания угольного пласта реакционные зоны перемещаются и под действием горного давления происходит обрушение пород кровли и заполнение ими выгазованного пространства. Размеры канала будут зависеть от шага обрушения, зольного остатка и вспучившихся пород почвы. Благодаря этому остаются в течение длительного времени размеры и структура каналов газификации.

Одним из существенных разделов в общем исследовании газогенераторных процессов является исследование динамики газообразования. Такое исследование в естественных условиях подземной газификации осуществлялось на нескольких участках Подмосковной станции.

В технике наземной газификации твердых топлив различают прямой и обращенный процессы газификации. При прямом процессе уголь поступает в шахту газогенератора сверху и постепенно перемещается вниз к колосниковой решетке, через которую подается дутье. Движение топлива происходит в противотоке движению газов, причем последние активно прогревают частицы топлива. Характерной чертой этой схемы осуществления процесса газификации является хорошая термоподготовка топлива до вступления его в зону газификации и обогащение газа в верхних ярусах загрузки высококалорийными газообразными продуктами пирогенетического разложения угля.

При обращенном процессе топливо поступает параллельно с дутьем в среднюю часть шахты газогенератора и движется сверху вниз в прямом направлении с движением образующихся газов. Подготовка топлива в верхней части шахты происходит за счет теплопроводности - путем теплоотвода по слою без конвективного переноса тепла. В отличие от схемы прямого процесса при газификации по схеме обращенного процесса не имеет места физическое присоединение к продуктам газификации высококалорийных легких продуктов разложения топлива: в основном они сжигаются в кислородной зоне, а в остальной части под действием высоких температур подвергаются глубоким превращениям. Таким образом, характерной чертой обращенного процесса является значительно меньшая степень термической подготовки топлива и отсутствие в получаемом газе продуктов сухой перегонки.

Выделение летучих пропорционально степени термической обработки топлива, а в условиях подземной газификации - степени нагрева поверхности угля по длине огневого забоя.

Максимальное выделение летучих имеет место в районе, примыкающем к зоне горения, но притекающие сюда летучие здесь же и сгорают. Выделение летучих уменьшается по направлению движения газового потока, и, проходя через высоконагретую поверхность угольного пласта, подвергаются термическому разложению.

Таким образом, по характеру термической подготовки угля и поведению летучих продуктов разложения угля, процесс подземной газификации занимает промежуточное место между прямым и обращенным процессами газификации.

Как известно, теплотворность газа, получаемого при прямом процессе газификации, значительно выше теплотворности газа, получаемого при обращенном процессе.

Обращенный характер процесса подземной газификации угля, интенсивное протекание реакции конверсии СО на значительной части длины огневого забоя, неблагоприятные аэродинамические условия, а также худшие тепловые условия по сравнению с обычной наземной газификацией обуславливают пониженное качество газа подземной газификации угля при принятом методе газификации, в том числе высокое содержание в нем СО<sub>2</sub> и Н<sub>2</sub>, низкое содержание СО, меньшее, чем при обычной наземной газификации, содержание СН<sub>4</sub>.

Поэтому для улучшения качества и повышения теплотворности газа ПГУ должны быть выбраны такие режимы ведения процесса, при которых улучшаются условия углеподготовки, в большей степени сохраняются летучие продукты разложения угля, снижается развитие реакций объемного горения и конверсии, улучшаются аэродинамические и тепловые условия работы подземных газогенераторов. [1]

К режимам необходимо отнести технологию с реверсированием потоков дутья и газа, принимая во внимание влияние интенсивности дутья на качество газа в процессе ПГУ.

Кроме режимов процесса газификации, принимая во внимания геологические характеристики залегания угля, необходимо оценить влияние шага заложения скважин, определив оптимальное расстояние между скважинами в процесс газификации. Очевидно, что расстояние между скважинами в ряду должно быть таково, чтобы ко времени снижения теплотворности газа ниже определенного предела был выгазован весь или почти весь приходящийся на скважину запас угля. Если же расстояние между скважинами больше рационального, то либо должны оставаться невыгазованные полосы угольного пласта между соседними скважинами, либо процесс выгазования должен продолжаться с получением некондиционного газа.

Условно примем, по аналогии с показателями наземной газификации, величину потерь углерода в золе и шлаках. По средним данным содержание горючих в золе и шлаках при газификации подмосковных углей в слоевых газогенераторах составляет в среднем 16% при средней зольно-

сти рабочего топлива (отсортированного подмосковного угля) 19%. Среднюю зольность угля примем в пределах 25—28% по рабочей массе. Соответственно вышеприведенному, примем содержание углерода в золе и шлаках выгазованного пространства газогенератора равным 20% при зольности исходного топлива—25%. Отсюда условная величина потери углерода в золе и шлаках выгазованного пространства составит  $25 \cdot 0,2 = 5$  кг на 100 кг прогазифицированного угля. Следовательно, при увеличении расстояния между скважинами будут возрастать потери угля. Однако рациональное расстояние также должно определяться с учетом удорожания производства при уменьшении шага бурения между скважинами.

Увеличение расстояния между скважинами является актуальной задачей, но она должна решаться в комплексе с рядом других элементов технологического процесса.

Следовательно, расстояние между скважинами необходимо соотносить с действительными условиями протекания процесса ПГУ и по мере надобности корректировать его в ходе эксплуатации с учетом изменяемости горно-геологических условий для обеспечения сплошности выгазования угольного пласта по фронту расположения скважин.

Еще одним важным фактором ПГУ является объемный расход дутья, который должен учитывать изменяющееся гидравлическое сопротивление в процессе газификации и имеет различные значения в начальный момент времени, определяемый горно-геологическими условиями. Малые объемы дутья и, следовательно, низкие температуры создают значительные теплотери и могут привести к полному уничтожению восстановительной зоны. Следовательно, при ламинарном режиме потоков дутья и газа в подземном газогенераторе, когда линейные скорости потоков чрезвычайно малы, и кислородная зона может сильно удлиняться. Так, по данным исследований на Подмосковной станции «Подземгаз» при увеличении расхода дутья ( $Q$ ) с 3000 м<sup>3</sup>/час до 6000 м<sup>3</sup>/час содержание  $O_2$  на расстоянии 15 м от дутьевой скважины было:

при  $Q = 3000$  м<sup>3</sup>/час - 1,8 %

при  $Q = 4500$  м<sup>3</sup>/час - 2,5 %

при  $Q = 6000$  м<sup>3</sup>/час - 3,0 %

При снижении расхода дутья с 6000 до 1500 м<sup>3</sup>/час содержание  $O_2$  на том же расстоянии от дутьевой скважины было:

при  $Q = 4500$  м<sup>3</sup>/час - 4,3 %

при  $Q = 3000$  м<sup>3</sup>/час - 3,7 %

при  $Q = 1500$  м<sup>3</sup>/час - 2,4 %

При вторичном увеличении расхода дутья с 1500 до 6250 м<sup>3</sup>/час также наблюдалось повышение содержания  $O_2$  с увеличением расхода дутья. Приведенные данные свидетельствуют об удлинении кислородной зоны с увеличением расхода дутья. В связи с удлинением кислородной зоны изменяется и теплотворность газа. Для наглядности в таблице приводим

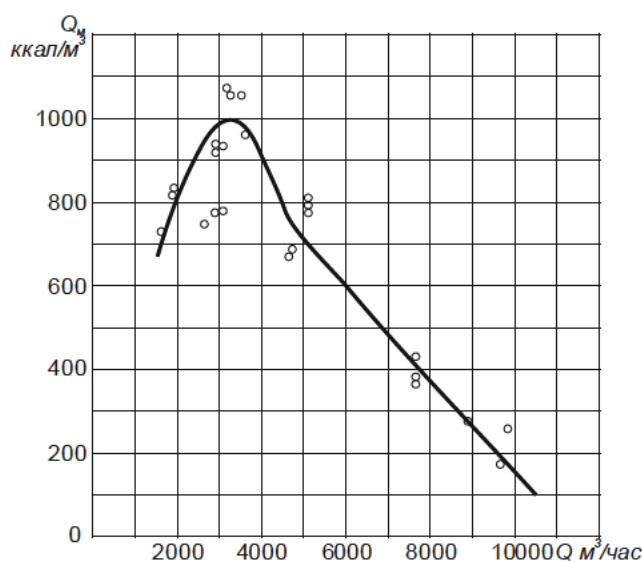
зависимость теплотворности газа от расхода дутья на разных длинах подземного газогенератора.

**Теплотворность газа в зависимости от расхода дутья  
на разных длинах подземного газогенератора**

| №  | Расход<br>дутьевого<br>воздуха<br>$Q$ , м <sup>3</sup> /час | Расстояние между скважинами $l$ , м. |     |     |     |
|----|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------|-----|-----|-----|
|    |                                                             | 17,5                                 | 35  | 70  | 105 |
| 1. | 3000                                                        | 980                                  | 820 | 800 | 730 |
| 2. | 5000                                                        | 750                                  | 740 | 800 | 780 |
| 3. | 7500                                                        | 430                                  | 710 | 730 | 705 |
| 4. | 10000                                                       | 270                                  | 700 | 700 | 680 |

Обработка опытов, проведенных лабораторией № 1 института ВНИИПодземгаз в 1951-1952 гг. и эксплуатационные данные Подмосковной станции «Подземгаз» показали, что для газогенераторов №№ 1, 4 и 5, а также для опытной технологической панели зависимость гидравлического сопротивления между двумя скважинами от расхода дутья имеет линейный характер. [5]

Линейная зависимость гидравлического сопротивления от расхода дутья позволяет сделать предположение о ламинарном режиме потока дутья и газа на Подмосковной станции «Подземгаз». Графическое изображение зависимости теплотворности газа от расхода дутья для расходов показывает, что наибольшая теплотворность газа получается при расходе дутья, равном 2500 - 4000 м<sup>3</sup>/час.



**Зависимость теплотворности газа от расхода дутья  
на Подмосковной станции «Подземгаз»**

Такой характер зависимости теплотворной способности газа от расхода дутья может быть объяснен следующим образом. Поскольку режим потока ламинарный, то перенос кислорода дутья к угольной поверхности осуществляется посредством молекулярной диффузии, поэтому количество израсходованного кислорода, несмотря на различное количество дутья на данной длине подземного газогенератора, будет более или менее постоянным. А так как абсолютное количество кислорода при большем расходе дутья будет поступать в подземный газогенератор больше, чем при меньшем расходе, то естественно, что при большем расходе дутья кислородная зона будет растягиваться. До тех пор, пока кислородная зона не будет перекрывать следующие за ней зоны полувосстановительных и восстановительных реакций, состав газа будет улучшаться. После наступления определенного оптимума дальнейшее увеличение расхода дутья будет ухудшать состав газа.

Оценивая эффективность процесса ПГУ необходимо отметить, что наряду с составом газа, степенью полезного использования запасов угля и КПД процесса газификации имеется еще ряд других показателей, характеризующих эффективность и освоенность производства газа ПГУ. К их числу относятся масштаб выработки и себестоимость производства, причем они в значительной степени взаимосвязаны.

Так, например, нельзя, пренебрегая экономикой, считать рациональным улучшение качества газа путем обогащения дутья кислородом или путем значительного подогрева дутья за счет сжигания части газа, а также путем уменьшения расстояния между скважинами в ряду с целью использования эффекта получения газа повышенной теплотворности, в первый период работы скважин после сбойки или путем отбора газа с повышенной теплотворностью из отдельных скважин. Точно так же нельзя считать рациональным чрезмерное увеличение расстояния между скважинами с целью сокращения затрат на бурение, когда это приводит к росту потерь угля в недрах и снижению средней теплотворности валового газа.

При реализации процесса ПГУ вопросы улучшения качества газа, сокращения потерь угля, дутья и газа, увеличения химического и энергетического КПД, повышения экономичности и другие должны решаться комплексно.

### **Список литературы**

1. Гаркуша И.С. Подземная газификация. М.: Углетехиздат, 1954. 73с.
2. Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР. Т. 2. М., 1962. 78 с.
3. Горная энциклопедия. М.: Советская энциклопедия. Под редакцией Е.А. Козловского. 1989. Т. 4. 623с.

4. Коллектив авторов. Подмосковный угольный бассейн / Под общ. ред. В.А. Потапенко. Тула: «Гриф и К°», 2000. 276 с.
5. Оника Д.Г. Подмосковный угольный бассейн (1855—1955) / Д.Г. Оника. М.: Моск. рабочий, 1956. 233.
6. Яблоков В.С. История изучения каменноугольных отложений и углей Подмосковного бассейна, М., 1967. Т. 2. 84 с.

*Ковалев Роман Анатольевич, д-р техн. наук, декан горно-строительного факультета, [kovalevdekan@mail.ru](mailto:kovalevdekan@mail.ru), Россия, Тула, Тульский государственный университет.*

*Кононенко Илья Алексеевич, асп., Россия, Тула, Тульский государственный университет.*

#### **EVALUATION OF SELECTED PARAMETERS AFFECTING THE UNDERGROUND AND GROUND GASIFICATION OF SOLID FUELS**

*R.A. Kovalev, I.V. Kononenko*

*This paper presents an underground gasification process flowing through the length of the reaction channel considered and addressed direct gasification process ground gasification of solid fuels. Except when the gasification process, taking into account the geological characteristics of the occurrence of coal, indicated the need to assess the impact of step wells location and the flow rate of the supply air.*

*Key words: dynamics gassing, calorific gas, hydraulic resistance, coal gasification, filtration flows.*

*Roman Anatolievich Kovalev, doctor of technical sciences, Decan of the Mining and Civil Engineering Faculty of Tula State University, [kovalevdekan@mail.ru](mailto:kovalevdekan@mail.ru), Russia, Tula, Tula State University.*

*Ilya Alexeevich Kononenko, postgraduate, [kononenko05@rambler.ru](mailto:kononenko05@rambler.ru) Russia, Tula, Tula State University*

## ОПТИМИЗАЦИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГИДРОСЕТИ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ КРЕПИ

А.А. Подколзин, В.П. Сафронов

*Имитационное моделирование режимов работы гидропривода крепи при выполнении операций технологического цикла позволило установить основные характеристики работы, определить динамические параметры переходных процессов и оптимальную конструкцию гидросети.*

*Ключевые слова: крепь, насос, гидропривод, гидросеть, моделирование, эффективность, оптимизация, конструкция.*

Как известно, базовой машиной очистного комплекса является механизированная гидрофицированная крепь, причем основные показатели работы комплекса (производительность, себестоимость добычи, надежность и эффективность управления горным давлением, безопасность труда и др.) во многом определяются характеристиками его гидропривода. Функциональное назначение различных типов механизированных крепей в основном одинаково, поэтому состав рабочих операций в крепи практически не зависит от ее конструктивного исполнения.

Для эффективной работы крепи гидропривод должен обеспечивать высокое давление, эффективные способы регулирования подачи жидкости, оптимальное взаимодействие всех контуров гидросистемы, минимальные динамические нагрузки и высокую надежность оборудования. На гидропривод существенное влияние оказывают также постоянно повышающиеся требования к скорости крепления и коэффициенту затяжки кровли.

Объектом моделирования режимов работы являлся гидропривод механизированной крепи очистного комплекса КМЛ, предназначенного для отработки угольных пластов мощностью от 2,6 до 4,6 м применительно к горнотехническим условиям ОАО "ИК "Шахта Соколовская".

Необходимость исследований была связана с тем, что в начальный период эксплуатации был установлен выход из строя большого количества элементов гидрооборудования. По мнению ряда специалистов, это явилось следствием того, что на шахте без согласования с разработчиками была в 1,45 раза увеличена длина крепи, изменена гидросеть, а также установлены насосные станции, имеющие производительность в 1,72 раза большую чем по проекту и большее рабочее давление.

Задача гидравлического расчета заключалась в сравнении режимов работы гидропривода крепи в проектном и измененных вариантах, разработке предложений и рекомендаций по совершенствованию гидросети, обеспечивающих повышение эффективности работы, функциональной надежности и безаварийности гидрооборудования.

При моделировании были проведены исследования семи альтернатив сочетаний длин крепи и типов насосных станций; рассчитаны величины пикового давления в напорной магистрали при различных расходах рабочей жидкости в системе; осуществлена интегральная оценка параметров аккумуляторной установки станции и аккумулирующей способности магистралей различной длины; исследованы инерционные характеристики гидросети и переходные процессы в гидроприводе при выполнении операций технологического цикла. При расчете переходных процессов и инерционных характеристик было учтено влияние угла наклона лавы  $15^\circ$ .

В качестве критерия оптимизации гидросети была принята длительность цикла работы  $T_{\text{ц}}$ , т. к. от нее зависят все показатели работы комплекса и эффективность управления кровлей. Этот критерий позволяет также учитывать вероятностный характер процессов, протекающих в системе "механизированный комплекс – вмещающие породы" [1]. При работе крепи длительность отдельных операций и всего цикла будут величинами переменными, подчиняющимися случайным законам изменения как в разных секциях вдоль лавы, так и в разных циклах, несмотря на постоянство основного комплекса условий. Длительность цикла определяется суммированием времен выполнения отдельных операций технологического цикла, периодов действия и срабатывания аппаратуры управления и т.п.

Инерционной характеристикой гидросети является уравнение:

$$P_{\text{ин}} = M \frac{dv}{dt} = M \frac{d^2 s}{dt^2}. \quad (1)$$

где  $M$  – масса, приведенная к активной части поршня исполнительного гидромеханизма,  $v$  и  $s$  – соответственно скорость и перемещение поршня.

Приведенная масса учитывает массы движущихся элементов секции крепи и рабочей жидкости. Приведение масс производят на основании равенства кинетических энергий поступательных движений по исполнительному механизму и элементам приведения. Приведенная масса при подводе рабочей жидкости в поршневую  $M_{\text{ж.п}}$  или штоковую  $M_{\text{ж.ш}}$  полости определяется по выражениям [2, 3]:

$$M_{\text{ж.п}} = F_{\text{п}} \left[ \rho_{\text{н}} L_{\text{пр.н}} \left( \frac{D_{\text{п}}}{d_{\text{т.н}}} \right)^2 + \rho_{\text{с}} L_{\text{пр.с}} \left( \frac{D_{\text{п}}}{d_{\text{т.с}}} \right)^2 \alpha_Q^2 + \rho_{\text{н}} s_0 \right]; \quad (2)$$

$$M_{\text{ж.ш}} = F_{\text{п}} \left[ \rho_{\text{н}} L_{\text{пр.н}} \left( \frac{D_{\text{п}}}{d_{\text{т.н}}} \right)^2 \alpha_Q^2 + \rho_{\text{с}} L_{\text{пр.с}} \left( \frac{D_{\text{п}}}{d_{\text{т.с}}} \right)^2 + \rho_{\text{с}} s_0 \right], \quad (3)$$

где  $F_{\text{п}}$  – площадь поршня;  $\rho_{\text{н}}$ ,  $\rho_{\text{с}}$  – плотности рабочей жидкости в напорной и сливной магистралях;  $L_{\text{пр.н}}$ ,  $L_{\text{пр.с}}$  – общая приведенная длина всех трубопроводов от насосной станции до гидромеханизма;  $D_{\text{п}}$  – диаметр поршня;  $d_{\text{т.н}}$ ,  $d_{\text{т.с}}$  – диаметры трубопроводов приведенной длины;  $\alpha_Q$  – расходный коэффициент мультипликации;  $s_0$  – шаг подвигания секции или конвейера.

Приведенная длина трубопроводов определяется по формуле:

$$L_{\text{пр}} = \sum_{i=1}^i L_i \cdot \left( \frac{d}{d_i} \right)^4, \quad (4)$$

где  $L_{\text{пр}}$  и  $d$  – длина и диаметр трубопровода, к которому приводится труба диаметром  $d_i$  и длиной  $L_i$ .

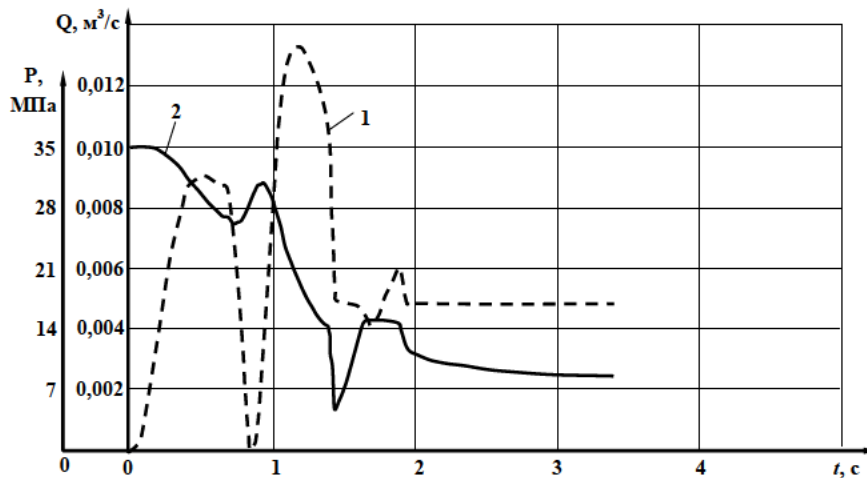
Результаты моделирования показали, что для всех альтернатив решений шахты по сравнению с проектными происходит значительное увеличение (свыше 60 %) приведенной массы и динамических нагрузок, что способствует возникновению колебательных возмущений в магистралях, которые усиливаются дополнительно за счет повышенного аккумулирующего эффекта гидромагистралей. Было определено, что высокие динамические значения можно снизить за счет изменения конструкции гидросети. Было предложено выполнить дополнительную прокладку обводных напорной и сливной гидролиний. При этом оптимальной является несимметричная конструкция основных и дополнительных гидромагистралей. Приведенная масса в этом случае снижается на 38,6 %. Однако, несмотря на снижение динамических параметров, они в этом случае остаются еще значительными. Дальнейший анализ показал, что в этой ситуации на динамику переходных процессов начинает оказывать существенное влияние секционная гидроразводка. Изменение конструкции гидроразводки привело к снижению динамических нагрузок в гидросети и по секции соответственно на 63,8 % и 18,2 %.

Анализ переходных процессов при передвижке секции крепи показал, что гидросистема значительную часть времени работает в аккумуляторном режиме без включения насосных агрегатов (до 50 % времени для насосной станции СНЕ и до 65-70 % – для ЕНР). Было также установлено, что в данной конструкции гидропривода номинальную подачу насосной станции ЕНР реализовать невозможно. Это обстоятельство вызвало необходимость определения оптимальной подачи жидкости. Были исследованы процессы передвижения первой и последней секций крепи в лаве с одной, двумя и тремя насосными станциями. Исследования показали, что увеличение расхода рабочей жидкости до 0,0025 м<sup>3</sup>/с вызывает уменьшение длительности передвижки секции с 7,5 до 5,5 с (на 26,67 %). Дальнейшее увеличение расхода не дает заметного увеличения скорости крепления забоя.

Анализ результатов моделирования показал также, что динамические явления в гидросети значительно возрастают в связи с быстрым нарастанием или падением давления при включении или выключении насосов высокого давления, происходит увеличение количества срабатываний системы разгрузки высоконапорного насоса, происходят скачкообразные изменения скорости движения штока гидроцилиндра передвижения.

На рисунке показан переходный процесс в гидросети при отключении работы насоса высокого давления при выполнении операции "пере-

движение конвейера волной".



**Переходные процессы в гидросети при отключении насоса:**  
1 – подача; 2 – давление

В связи с высокими скоростями течения жидкости в трубопроводах гидросети крепи, применением быстродействующей распределительной аппаратуры, а также со значительными параметрами инерционной характеристики важное значение приобретают вопросы, связанные с эффектом гидравлического удара. Рассчитанные при моделировании параметры забросов давления (величина пикового давления, скорость нарастания или спада, длительность действия) показывают, что они могут вызывать поломки элементов гидроаппаратуры и клапанов на гидромагистралях.

Таким образом, моделирование работы гидропривода крепи в целом показало, что изменение проекта было научно не обосновано и экономически не оправдано.

### Список литературы

1. Расчет и конструирование гидроприводов механизированных крепей / Ю.Ф. Пономаренко, А.А. Баландин, Н.Т. Богатырев и др.; под общ. ред. Ю.Ф. Пономаренко. М.: Машиностроение, 1981. 327 с.
2. Ковалевский, В.Ф., Железняков, Н.Т., Бейлин, Ю.Е. Справочник по гидроприводам горных машин. М.: Недра, 1973. 504 с.
3. Тесленко, А.И. Основы гидравлических расчетов механизированных крепей. М.: Недра, 1974. 216 с.

*Подколзин Анатолий Алексеевич, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой, [apodkolzin@dialog.nirhtu.ru](mailto:apodkolzin@dialog.nirhtu.ru), Россия, Новомосковск, Новомосковский институт (филиал) Российского химико-технологического университета им. Д.И. Менделеева,*

*Сафронов Виктор Петрович, д-р техн. наук, проф., [sarychevy@mail.ru](mailto:sarychevy@mail.ru), Россия, Тула, Тульский государственный университет*

---

OPTIMIZATION OF DYNAMIC CHARACTERISTICS  
HYDRONETWORK MECHANIZED SYSTEM

A.A. Podkolzin, V.P. Safronov

*Consider internal and external factors arising from the operations of the technological cycle of mining operations affecting the dynamic loading of the electromechanical system of the pumping unit, proposed solutions to improve the efficiency and reliability of the system through the use of the damping properties of electric drive.*

*Key words: support, pump, hydraulic drive, hydrosystem, modeling, efficiency, optimization, design of.*

*Podkolzin Anatoly Alekseevich, doctor of technical sciences, professor, Head of Department, [apodkolzin@dialog.nirhtu.ru](mailto:apodkolzin@dialog.nirhtu.ru), Russia, Novomoskovsk, Novomoskovsk Institute (branch) of Russian Chemical-Technological University. DI Mendelev,*

*Safronov Viktor Petrovich, doctor of technical sciences, professor, [sarychevy@mail.ru](mailto:sarychevy@mail.ru), Russia, Tula, Tula State University*

УДК 624.191

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СОВМЕЩЕННОЙ СХЕМЫ  
ПРОКЛАДКИ ТРУБ ПРИ БЕСТРАНШЕЙНОЙ ТЕХНОЛОГИИ**

*А.Н. Панин, В.И. Сарычев, Н.И. Прохоров, И.И. Савин*

*Рассмотрена совмещенная схема прокладки труб большого диаметра; приведена расчетная модель усилий прокола и длины насадки; получены зависимости шага заходки от глубины прокладки; дана область применения бестраншейных технологий.*

*Ключевые слова: бестраншейная технология; совмещенная схема прокладки трубопроводов; усилие прокола; длина насадки; уплотнение грунтового основания; расчетная модель; область применения.*

Бестраншейные методы – прокол и продавливание – широко применяются при строительстве различных инженерных коммуникаций, технологических тоннелей и других подземных сооружений, в особенности в местах пересечения естественных или искусственных препятствий (автомобильных и железнодорожных магистралей, рек, каналов), где использование других способов является неэффективным. Бестраншейные методы имеют свою область применения, которая ограничивается размерами возводимых инженерных конструкций: для прокола обычно используют трубы диаметром до 600 мм; для продавливания – от 800 до 2000 мм. Ограничение диаметра при проколе связано с необходимостью создания больших

усилий для перемещения грунта перед торцом конструкции, а при продавливании – со сложностью разработки грунта внутри трубопровода.

Для прокола труб диаметром более 600 мм, а также в случае, когда суммарное усилие прокола превышает давление, развиваемое домкратной станцией, предлагается уменьшить сопротивление грунта путем установки насадки в виде открытой трубы малого диаметра в торцевой части (рис. 1). При такой схеме уменьшается объем уплотняемого грунта, так как его часть через насадку будет проникать внутрь основного трубопровода, откуда возможно его удаление, например, гидроразрывом или механическим способом. Данная схема называется совмещенной, так как сочетает в себе элементы технологий прокола и продавливания.

Суммарное усилие, расходуемое на перемещение трубы при совмещенном методе, может быть найдено по формуле [1,3]:

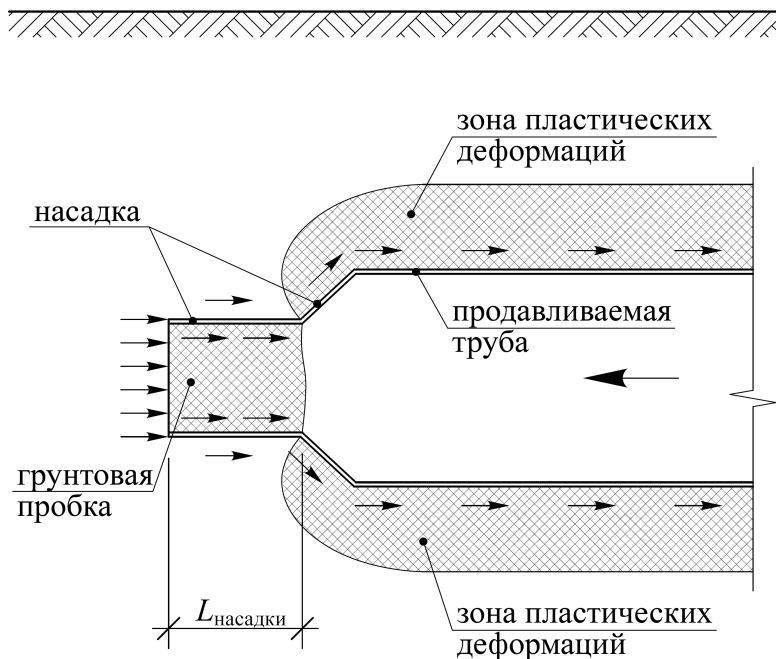
$$N = N_u + F_s, \quad (1)$$

где  $N_u$  – усилие, расходуемое на разрушение структуры грунта перед торцом трубы;  $F_s$  – трение грунта о поверхность трубы.

Как при продавливании, так и при проколе трение грунта о боковую поверхность трубы определяется по общей формуле [1]:

$$F_s = P \sum \gamma_{cf} h_i f_i, \quad (2)$$

где  $P$  – внешний периметр сечения трубопровода;  $\gamma_{cf}$  – коэффициент условий работы;  $f_i$  – расчетное сопротивление по боковой поверхности трубы (табл. 2, СНиП 02.03-85), зависящее от глубины ее заложения и физико-механических характеристик грунтов.



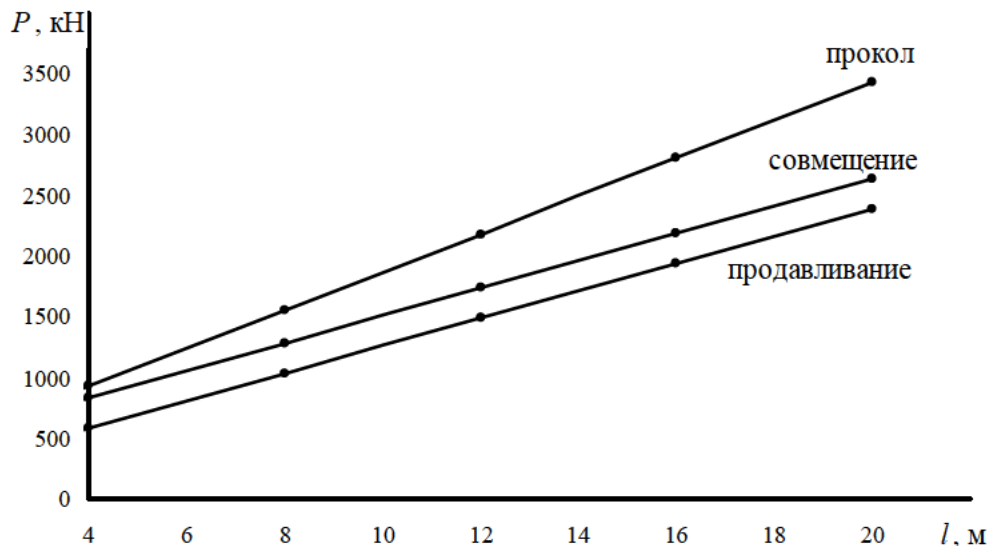
**Рис. 1. Схема деформирования грунта при совмещенной технологии**

Снижение усилий происходит за счет уменьшения объема грунта, разрушаемого во время прокола и перемещаемого за пределы трубы. Тогда:

$$N_u = \pi(R_{\text{тр}}^2 - R_{\text{н}}^2)(n_{\gamma}\gamma R_{\text{тр}} + n_q(\gamma H + p) + n_c c), \quad (3)$$

где  $n_{\gamma}$ ,  $n_q$  и  $n_c$  – безразмерные коэффициенты несущей способности грунта, определяемые в зависимости от расчетного значения угла внутреннего трения  $\varphi$ ;  $R_{\text{тр}}$  и  $R_{\text{н}}$  – наружные радиусы соответственно трубы и насадки;  $c$  – расчетное значение удельного сцепления грунта;  $H$  – глубина заложения трубопровода;  $\gamma$  – объемный вес грунта.

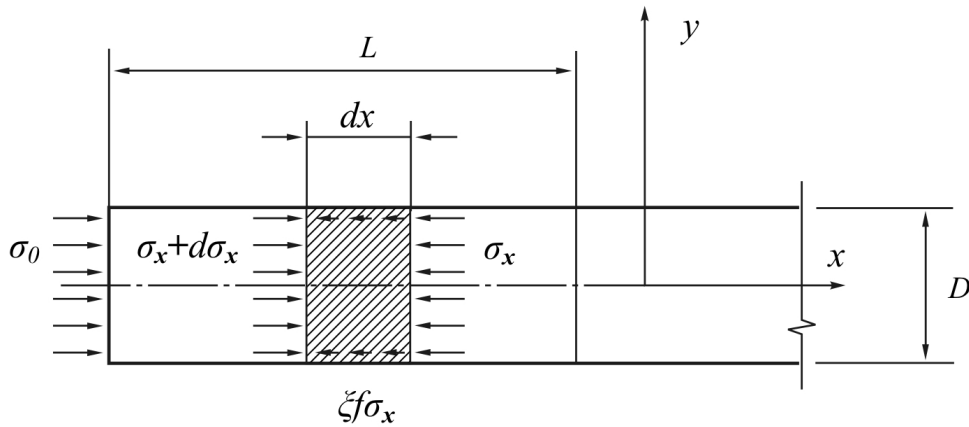
На рис. 2 приведены зависимости усилий для создания микротоннеля в одинаковых условиях способом прокола, продавливания и по совмещенной технологии для трубы диаметром 720 мм. Из рисунка видно, что при проколе требуется максимум усилий, расходуемых на разрушение и перемещения грунта за пределы трубы. Наименьшие усилия требуются при продавливании, т.к. усилия при правильно выбранной длине заходки расходятся в основном на преодоление трения по боковой поверхности. При совмещенной технологии усилия занимают промежуточное положение. Такую технологию следует использовать, когда усилия по схеме прокола являются недостаточными, а применение схемы продавливания по каким-либо причинам невозможно. С другой стороны, насадка, используемая при совмещенной технологии, выступает как направляющая, повышающая точность внедрения инженерных конструкций [2].



**Рис. 2. Зависимости усилий при проколе, продавливании и по совмещенной технологии для трубы диаметром 720 мм**

Грунт, заключенный в стальную оболочку, работает как грунт в обойме и выдерживает большие сжимающие напряжения. Площадь попе-

речного сечения стальной оболочки по сравнению с полной площадью трубы (малого диаметра в носовой части) невелика. Поэтому можно считать, что нагрузка будет полностью передаваться на грунтовое ядро. Ясно, чем длиннее будет насадка, тем больше будет сопротивление грунтового ядра (рис. 3).



**Рис. 3. Схема сил, действующих на элемент грунтовой пробки**

Отсюда возникает необходимость определения рациональной длины насадки, при которой грунт переместится в полость основного трубопровода, не воспринимая полностью нагрузку, приходящуюся на площадь насадки. Для этого, из условия равновесия элемента грунтовой пробки (см. рис. 3), было получено следующее уравнение [1]:

$$L = \frac{1}{k} \ln \left( \frac{k}{\gamma f} \sigma_0 + 1 \right), \quad (4)$$

где  $k = 4\lambda f / D$ ;  $\lambda = \nu / (1 - \nu)$  – коэффициент бокового давления грунта;  $\nu$  – коэффициент поперечной деформации;  $f$  – коэффициент трения грунта по оболочке, равный 0,6;  $\sigma_0$  – напряжение в грунтовом массиве на торце насадки при продавливании.

Получаемая по формуле (4) длина насадки определяет такой технологический параметр, как рациональный шаг заходки. Однако при этом не учитывается ситуация, при которой возможно нарушение земной поверхности, что характерно для малых глубин заложения трубопроводов. Т.е., развиваемое для обеспечения данного шага заходки усилие, а значит и давление на торце насадки, будет превышать пассивное давление грунта. В связи с этим возникает необходимость корректировки длины насадки по условию исключения разрушения грунтового массива до поверхности.

Учитывая, что поперечный размер грунта больше диаметра насадки, то грунт, задавливаемый в трубу, будет уплотняться. Если принять за первоначальный объем грунта  $V_1$ , то после уплотнения при давлении  $\Delta \sigma$  его объем изменится на  $\Delta V$ . Отношение отжимающего напряжения (эту величину принимаем для торца насадки) к относительному изменению

объема обозначим через  $K_V$ :

$$K_V = \frac{\Delta\sigma}{\Delta V/V_1}. \quad (5)$$

При малых деформациях  $K_V$  можно считать не изменяющимся по величине. Из выражения (5) следует:

$$\Delta V = \frac{\Delta\sigma}{K_V} V_1.$$

Тогда объем грунта после уплотнения будет равен:

$$V_2 = V_1 - \Delta V = V_1 \left( 1 - \frac{\Delta\sigma}{K_V} \right).$$

Исходя из того, что отношение  $\Delta V/V_1$  есть объемная деформация  $\varepsilon_V$ , то можно записать:

$$\Delta\sigma = K_V \varepsilon_V. \quad (6)$$

Если принять длину грунта в трубе за единицу, то объем грунта до уплотнения и после уплотнения можно представить в виде:

$$V_1 = \frac{1}{4} \pi D_1^2 \quad \text{и} \quad V_2 = \frac{1}{4} \pi D_2^2, \quad (7)$$

где  $D_1$  – диаметр грунта до уплотнения;  $D_2$  – диаметр грунта в трубе.

Пренебрегая сжимаемостью зерен скелета грунта, запишем равенство начального и конечного объемов в следующем виде:

$$V_1 \frac{1}{1+e_1} = V_2 \frac{1}{1+e_2},$$

где  $e_1$  – коэффициент пористости до уплотнения;  $e_2$  – коэффициент пористости после уплотнения. Отсюда:

$$V_2 = \frac{1+e_2}{1+e_1} V_1. \quad (8)$$

Следовательно, объемная деформация будет равна:

$$\varepsilon_V = \frac{V_1 - V_2}{V_1} = 1 - \frac{V_2}{V_1} = 1 - \frac{1+e_2}{1+e_1} = \frac{e_1 - e_2}{1+e_1}. \quad (9)$$

Известно, что начальный коэффициент пористости грунтов определяется по формуле:

$$e_1 = \frac{\rho_s(1+0,01W)}{\rho} - 1, \quad (10)$$

где  $\rho_s$  – плотность скелета грунта;  $\rho$  – плотность грунта до уплотнения.

На основании (7) и (8) запишем выражение для определения коэффициента пористости грунта после уплотнения:

$$e_2 = \frac{D_2^2}{D_1^2} (1+e_1) - 1.$$

Из теории упругости известно, что модуль объемной деформации находится по формуле:

$$K_V = \frac{E}{3(1-2\nu)}, \quad (11)$$

где  $E$  – модуль деформации грунта, определяемый для сжимаемых грунтов из выражения:

$$E = \frac{1+e_1}{\alpha} \beta, \quad (12)$$

где  $\alpha = (e_1 - e_2)/p$  и  $\beta = 1 - 2\nu^2/(1-\nu)$  – коэффициенты сжимаемости;  $p$  – дополнительное давление.

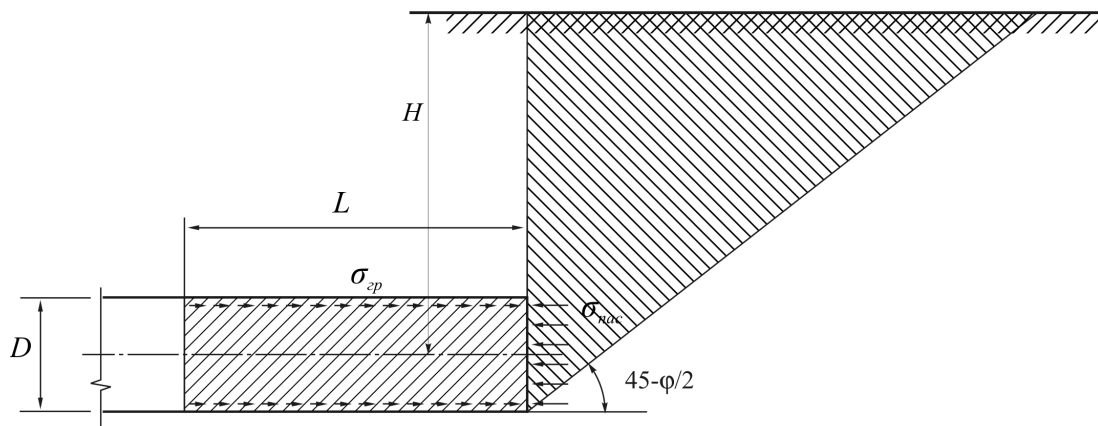
Используя выражения (6), (9), (11) и (12) запишем формулу определения давления, необходимого для изменения первоначального объема грунта на  $\Delta V$ :

$$\Delta\sigma = \frac{\left(\frac{1+e_1}{\alpha}\right)\beta}{3(1-2\nu)} \frac{e_1 - e_2}{1+e_1}. \quad (13)$$

Для того, чтобы разрушения массива и нарушение поверхности при прокладке труб по совмещенной технологии были исключены необходимо выполнение следующего условия (рис. 4):

$$\sigma_{гр} \leq \sigma_{пас}, \quad (14)$$

где  $\sigma_{гр}$  – сопротивление по внутренней поверхности трубы;  $\sigma_{пас}$  – пассивное давление грунта (отпор).



**Рис. 4. Схема взаимодействия массива грунта и насадки**

Пассивное давление грунта определяется на основании теории предельного равновесия:

$$\sigma_{пас} = \gamma H \tan^2\left(45 + \frac{\varphi}{2}\right) + 2C \tan\left(45 + \frac{\varphi}{2}\right) + \tau, \quad (15)$$

где  $H$  – глубина заложения трубы;  $\tau$  – сопротивление сдвигу;  $\varphi$  – угол

внутреннего трения грунта;  $C$  – сцепление.

Сопротивление сдвигу (срезу) вычисляется по формуле:

$$\tau = (\gamma H \tan \varphi + C) 2A, \quad (16)$$

где  $A$  – площадь грунта в пределах сдвига, принимаем ее в виде треугольника, тогда:

$$A = \frac{1}{2} \cot \left( 45 - \frac{\varphi}{2} \right) H^2. \quad (17)$$

В итоге, на основании формул (15)-(17), получим следующее выражение для определения пассивного давления грунта:

$$\sigma_{\text{пас}} = \gamma H \tan^2 \left( 45 + \frac{\varphi}{2} \right) + 2C \tan \left( 45 + \frac{\varphi}{2} \right) + (\gamma H \tan \varphi + C) \cot \left( 45 - \frac{\varphi}{2} \right) H^2. \quad (18)$$

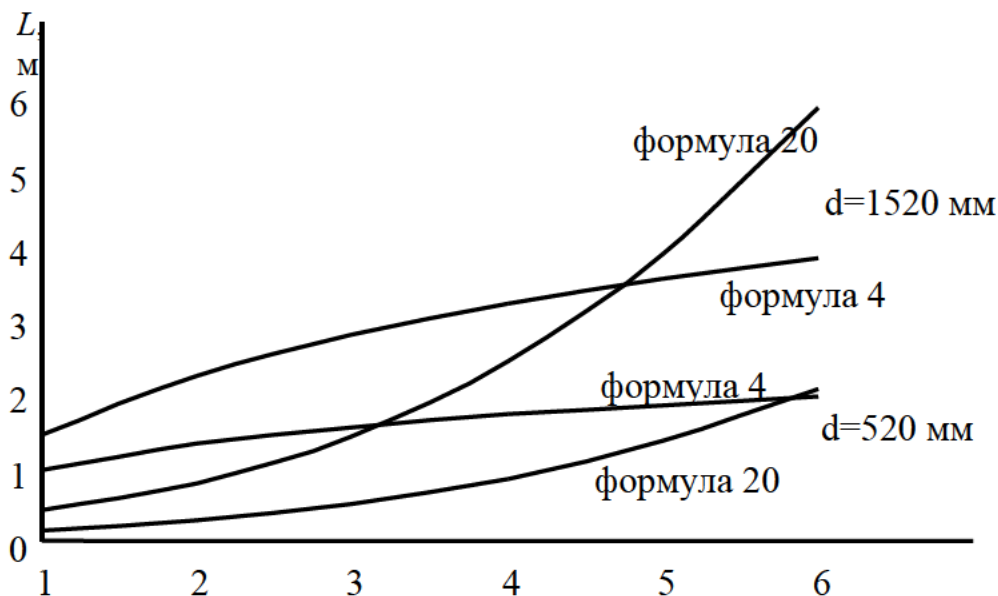
Сопротивление по внутренней поверхности трубы:

$$\sigma_{\text{гр}} = \Delta \sigma \lambda f. \quad (19)$$

Длина насадки (шаг заходки) из соотношения (14) и на основании равенства сил трения и сил отпора грунта будет определяться из выражения:

$$L = \frac{\sigma_{\text{пас}} (\pi D^2 / 4)}{\sigma_{\text{гр}} \pi D} \quad \text{или} \quad L = \frac{\sigma_{\text{пас}} (D/4)}{\sigma_{\text{гр}}}. \quad (20)$$

Результаты расчета при прочих равных условиях с учетом варьирования глубины заложения труб диаметрами 1520 и 520 мм представлены на рис. 5.



**Рис. 5. Зависимости шага заходки от глубины заложения трубы**

Зависимости, полученные по формуле (20), характеризуют изменение максимально возможного шага заходки (длины насадки) из условия

недопустимости выдавливания грунта на поверхности (его разрушения), а зависимости, установленные на основании формулы (4), отражают изменение предельного шага заходки из условия прохождения грунтовой пробки внутри насадки.

Полученные результаты обеспечивают рациональное обоснование шага заходки при прокладке труб: до точек пересечения графиков, характеризующихся глубинами заложения 4,8 ( $D = 1520$  мм) и 5,9 м ( $D = 520$  мм), шаг заходки находится из условия устойчивого состояния грунта; за ними – определяется по условию перемещения грунта внутри насадки.

### Список литературы

1. Прохоров, Н.И. Расчет усилия прокола [Текст] / Н.И. Прохоров, А.Н. Панин, А.Д. Огер // Известия ТулГУ. Серия «Геомеханика. Механика подземных сооружений». Вып.1. Тула: Изд-во ТулГУ, 2003.

2. Минаев В.И. Проходка с лидирующей разработкой грунта при бестраншейной прокладке трубопроводов» [Текст] // Механизация строительства трубопроводов и нефтегазопромысловых сооружений. 1980. №3. С. 3-5.

3. Сарычев, В.И. Математическая модель и имитационное моделирование взаимодействия исполнительного органа прокалывающей установки с грунтовым массивом [Текст] / В.И. Сарычев, А.Е. Пушкарев, А.А. Рогачев, А.В. Пушенко // Горное оборудование и электромеханика. № 6. 2012. С. 33-39.

*Сарычев Владимир Иванович, д-р техн. наук, проф., [sarychevy@mail.ru](mailto:sarychevy@mail.ru), Россия, Тула, Тульский государственный университет*

*Панин Алексей Николаевич, главный конструктор, [seryislon@mail.ru](mailto:seryislon@mail.ru), Россия, Тула, Тульский проектный институт*

*Прохоров Николай Ильич, канд. техн. наук, проф., Россия, Тула, Тульский государственный университет*

*Савин Игорь Ильич, д-р техн. наук, проф., [sarychevy@mail.ru](mailto:sarychevy@mail.ru), Россия, Тула, Тульский государственный университет*

### RATIONALE PARAMETERS COMBINED SCHEME LAYING PIPES IN TRENCHLESS TECHNOLOGY

V.I. Sarychev, A.N. Panin, N.I. Prohorov, I.I. Savin

*Combined method of laying large diameter pipe considered; calculation model of puncture effort and length of extension are given; depending on the length of the passage from the puncture depth were obtained; area of application of trenchless technology is given.*

*Key words: trenchless technology; combined method laying pipes; puncture effort; length of extension; hardening technology of subgrade; calculation model; area of application.*

Sarychev Vladimir Ivanovich, doctor of technical sciences, professor, [sarychevy@mail.ru](mailto:sarychevy@mail.ru), Russia, Tula, Tula State University

Panin Aleksey Nikolayevich, chief designer, [seryislon@mail.ru](mailto:seryislon@mail.ru), Russia, Tula, Tula Design Institute

Prohorov Nikolai Iljich, candidate of technical sciences, professor, Russia, Tula, Tula State University

Savin Igor Iljich, doctor of technical sciences, professor, [sarychevy@mail.ru](mailto:sarychevy@mail.ru), Russia, Tula, Tula State University

УДК 624.191

## **ТЕХНОЛОГИЯ УПРОЧНЕНИЯ ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ СПОСОБОМ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ПРОКОЛА И АНАЛИЗ ЕГО НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ**

*В.И. Сарычев, А.Н. Панин, Н.И. Прохоров*

*Предложена бестраншейная технология упрочнения грунтового основания зданий способом горизонтального прокола, даны результаты оценки напряженного состояния упрочненных грунтов.*

*Ключевые слова: грунтовое основание, технология упрочнения, горизонтальный прокол, напряженное состояние.*

Статистический анализ причин, вызывающих аварийное состояние зданий и сооружений, показывает, что 85 % из них связаны со снижением надежности системы «основание – фундамент». В самой системе наиболее слабой составляющей является грунтовое основание, способное изменять свои физико-механические свойства под влиянием различных горнотехнических и природно-климатических факторов. Изменение гидрогеологических условий и увеличение давления на основание часто приводит к недопустимому развитию пластических деформаций. Все это требует применения дополнительных мероприятий по искусственному воздействию на напряженно-деформированное состояние грунта, обеспечивающее снижение интенсивности напряжений до нормативных значений.

Одним из способов искусственного изменения напряженно-деформированного состояния грунтовых оснований является его упрочнение с помощью внедрения жестких конструкций по бестраншейной технологии. Такая технология была реализована при упрочнении грунтового ос-

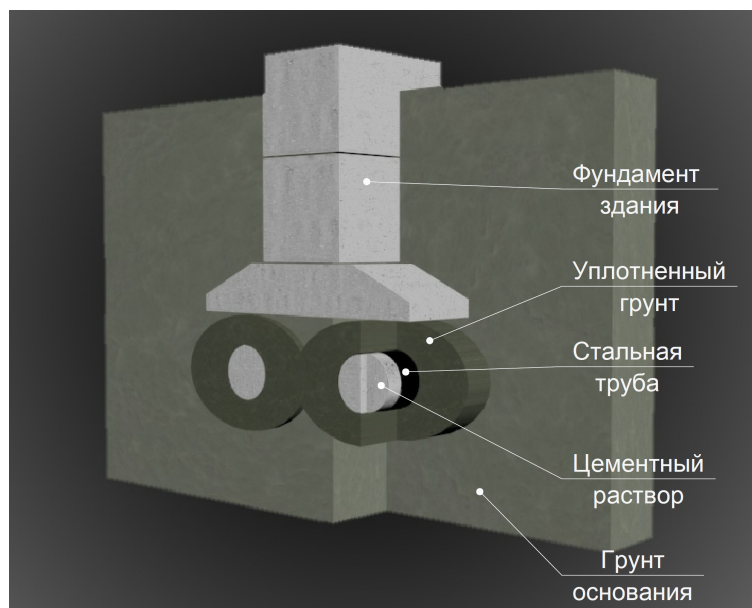
нования под гражданским сооружением. В результате повышения уровня подземных вод произошло замачивание грунтов основания, обладающих просадочными свойствами, что привело к неравномерным осадкам здания.

Оценка горно-геологических условий площадки застройки показала:

снижение прочностных и деформационных характеристик грунтов за счет перехода суглинка из твердого и полутвердого состояния в мягко- и текучепластичное;

грунты по состоянию, мощности и физико-механическим показателям характеризуются крайней неоднородностью распределения в плане и по глубине площадки.

В сложившихся инженерно-геологических условиях было принято решение по упрочнению грунтов путем горизонтального прокалывания инженерных конструкций по предложенной бестраншейной технологии (рис. 1). В качестве инженерных конструкций выступали металлические трубы  $\varnothing 325$  мм. Прокалывание производилось из двух стартовых котлованов, подготовленных с торцов здания. По окончании прокола трубы заполняли бетоном.



**Рис. 1. Способ упрочнения грунтового основания**

Применение предложенной технологии позволило получить следующие результаты: в упрочненной зоне вокруг продавливаемой инженерной конструкции плотность грунта увеличилась на 4,8–6,4%, коэффициент пористости уменьшился на 8,6–20,0 %, максимальное уплотнение грунтов произошло в защитном слое между верхом инженерной конструкции и подошвой фундамента.

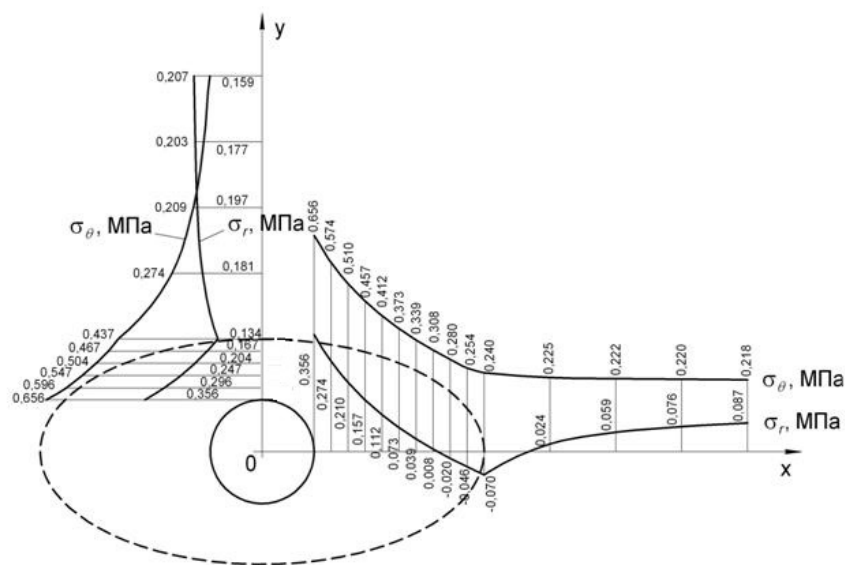
Анализ изменения напряженного состояния грунтового массива в

результате прокола металлических труб выполнялся применительно к данным горнотехническим условиям. Грунты основания – суглинки с плотностью  $19 \text{ кН/м}^3$ , модулем деформации  $E = 10 \text{ МПа}$ , углом внутреннего трения  $19^\circ$  и сцеплением  $14 \text{ кПа}$ . Согласно [1], нагрузки, передаваемые фундаментом на основание, составляют  $0,214 \text{ МПа}$ .

На основании [2] усилия, требуемые при проколе грунта для данных условий, составляют  $121,2 \text{ кН}$  или  $1,46 \text{ МПа}$ . Давление на контуре отверстия –  $0,724 \text{ МПа}$ . Коэффициент Пуассона  $\nu = 0,35$ . Коэффициент бокового давления  $\lambda = 0,54$ .

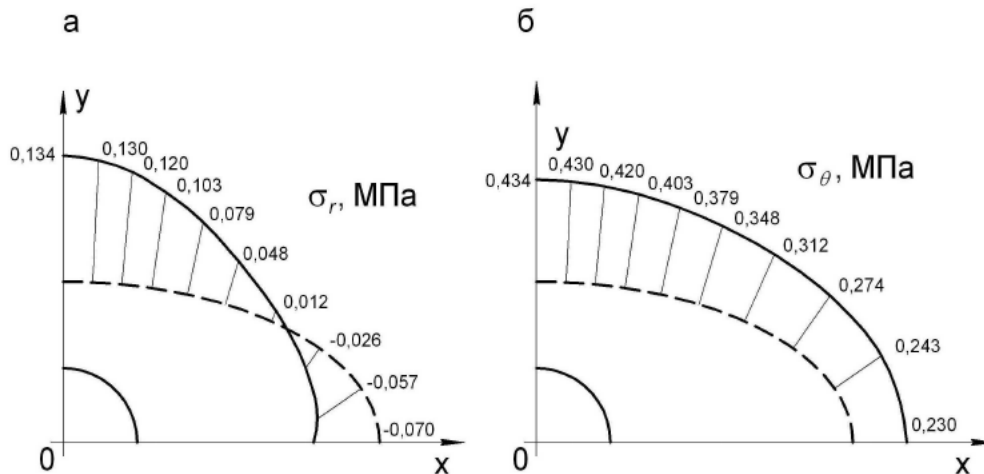
Используя аналитический метод расчета, предложенный в работе [4], а также разработанное на его основе методическое обеспечение, включающее блок-схему расчета и комплекс программных средств, было установлено, что зона распространения пластических деформаций имеет эллиптическую форму с горизонтальным и вертикальным радиусом  $0,698$  и  $0,378 \text{ м}$  соответственно. Основной причиной является неоднородность начального поля напряжений в грунтовом массиве.

Анализ полученного распределения напряжений показывает, что в пластической зоне напряжения плавно уменьшаются при удалении от отверстия прокола, на границе зоны происходит излом, после чего напряжения увеличиваются, стремясь к начальным (рис. 2). Напряжения на границе зоны пластических деформаций непрерывны (рис. 3). При этом следует отметить, что если нормальные радиальные напряжения меняют знак при переходе с оси ординат к оси абсцисс, так и нормальные тангенциальные напряжения всегда являются положительными, однако уменьшаются практически в 2 раза, что объясняется, прежде всего, коэффициентом бокового давления.



**Рис. 2. Распределение напряжений вокруг отверстия прокола в пластической и упругой зонах**

При использовании данного решения в практических целях необходимо учитывать давление в грунте под подошвой фундамента и выбрать такое положение прокалываемых труб, чтобы напряжения в грунте, полученные в результате прокола трубы, не превышали давления под фундаментом. Данное условие исключает отрицательное влияние на окружающие сооружения технологии прокола инженерных конструкций. В пластической зоне грунт в результате необратимых деформаций приобретает более плотную структуру, становится более прочным.



**Рис. 3. Распределение нормальных радиальных (а) и тангенциальных (б) напряжений на границе зоны пластических деформаций**

Увеличение или уменьшение толщины защитного слоя за счет изменения диаметра труб позволяет формировать уплотненную зону требуемых размеров и создавать условия воздействия уплотненной зоны грунта на подошву фундаментов. Это дает возможность не только выравнивать напряженно-деформированное состояние системы «основание – фундамент» в плане здания, но и компенсировать (предупреждать) возможные осадки фундаментов.

Прокалывание инженерной конструкции в грунтовой массив с использованием бестраншейных методов, без разрушающего влияния на окружающие сооружения, позволяет локально выполнять упрочнение грунта в необходимой области.

Основными достоинствами метода горизонтального прокола конструкции являются:

- элементы конструкции вступают в работу сразу за проколом;
- усиление грунтов основания выполняется без нарушения технологического режима эксплуатации объекта;
- при проколе элементов конструкции отсутствуют любые виды воздействий на расположенные вблизи здания и сооружения;

усиленное продольными элементами основание не оказывает влияния на изменение гидрогеологических условий площадки застройки;

возможность производства работ с внешней стороны аварийных и реконструируемых зданий;

упрочнение грунтов основания приводит к повышению несущей способности системы «основание – фундамент» в 1,8-3,3 раза.

### Список литературы

1. Технический отчет по обследованию и разработке технической документации на усиление жилого дома по ул. Седова, 33 а в г. Тула/ А.А. Трещев, Г.А. Нехаев, Н.И. Прохоров. Тула. 2003.

2. Панин А.Н. Расчет усилия прокол/ А.Н. Панин // Известия ТулГУ. Серия «Геомеханика. Механика подземных сооружений» Вып.1. Тула, 2003.

3. Прохоров Н.И., Игнатов В.И., Панин А.Н. Уплотнение грунтов основания фундаментов аварийных зданий методом горизонтального продавливания жестких протяженных элементов // Вестник ТулГУ. Серия «Геомеханика. Механика подземных сооружений» Вып. 1. 2007. С. 118-128.

4. Галин Л.А. Упруго-пластические задачи. М: Наука, 1984. 232 с.

*Сарычев Владимир Иванович, д-р техн. наук, проф., [sarychevy@mail.ru](mailto:sarychevy@mail.ru), Россия, Тула, Тульский государственный университет,*

*Панин Алексей Николаевич, главный конструктор, [seryislon@mail.ru](mailto:seryislon@mail.ru), Россия, Тула, Тульский проектный институт,*

*Прохоров Николай Ильич, канд. техн. наук, проф., Россия, Тула, Тульский государственный университет*

#### *HARDENING TECHNOLOGY OF SUBGRADE BY HORIZONTAL PUNCTURE METHOD AND ANALYSIS OF ITS STRESS STATE*

*V.I. Sarychev, A.N. Panin, N.I. Prohorov*

*Trenchless technology of subgrade strengthening buildings by horizontal puncture method are proposed, the results of stress estimation reinforced soils are presented.*

*Key words: subgrade, hardening technology, horizontal puncture, stress state.*

*Sarychev Vladimir Ivanovich, doctor of technical sciences, professor, [sarychevy@mail.ru](mailto:sarychevy@mail.ru), Russia, Tula, Tula State University*

*Panin Aleksey Nikolayevich, chief designer, [seryislon@mail.ru](mailto:seryislon@mail.ru), Russia, Tula, Tula Design Institute*

УДК 622.272/.275; 622.831

## **ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ КОМБИНИРОВАННОЙ ЗАКЛАДКИ ПРИ ТРАДИЦИОННЫХ СХЕМАХ ОЧИСТНОЙ ВЫЕМКИ КОМПЛЕКСНО-МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ ЗАБОЯМИ**

В.И. Сарычев, Е.И. Захаров, С.С. Жуков

*Рассмотрена технология комбинированной закладки выработанных пространств при традиционных схемах очистной выемки комплексно-механизированными забоями; получены зависимости изменения вынимаемой эффективной мощности от параметров закладки.*

*Ключевые слова: пакетированная закладка, пневматическая закладка, комбинированная закладка, вынимаемая эффективная мощность пласта.*

Обобщение опыта применения системы отработки длинными столбами позволили предложить, как одну из наиболее перспективных, схему комплексно-механизированной выемки с закладкой выработанных пространств. Для разработки пологих пластов тонких и средней мощности предлагается использовать механизированные комплексы для выемки угля с пакетированной закладкой выработанного пространства на базе серийных механизированных, выпускаемых для работы с обрушением. Данные схемы предполагают использование отечественного оборудования для выемки угля, закладки выработанного пространства, доставки пакетированной закладки, транспортирования угля и поддержания выработок. Предлагаемые варианты технологий работ включают следующий комплект оборудования: ленточный конвейер; механизированная крепь; крепь сопряжения; очистной комбайн; монорельсовый транспорт; моноканатный транспорт [1,2,3].

Главным критерием применения той или иной технологической схемы очистных работ с закладкой выработанного пространства является обеспечение требуемой (в соответствии с нормативами подработки зданий и сооружений) эффективной вынимаемой мощности. Однако данные схемы были ориентированы только на применение пакетированной закладки, в данной работе предлагаются варианты комбинированной закладки выработанных пространств: на основе устанавливаемых пакетов и пневматической закладки.

Влияющими факторами в случае применения технологии с комби-

нированной закладкой выработанных пространств при традиционных системах разработки являются:  $m_i$  - мощность пласта, м;  $K_{y3}$  - коэффициент уплотнения пород закладочного материала;  $K_{yп}$  - коэффициент уплотнения пород закладочного пакета;  $D_i$  - технологическое расстояние от кровли до закладочного пакета, м;  $a_i$  - ширина пакета, м;  $H_{п}$  - высота закладочного пакета, м;  $b_i$  - расстояние между соседними пакетами, м.

Рассмотрим общую схему формирования закладочного массива при комбинированной закладке, обеспечивающую обоснование эффективной вынимаемой мощности (рис. 1).

После установки закладочного пакета  $ABCD$  в выработанном пространстве и заполнения пространства между рядами пакетов пневматической закладкой  $ABFE$ , вследствие воздействия на закладочный массив обрушающихся пород кровли, закладочный пакет займет пространство  $A_1B_1C_1D_1$ , а площадь пневматической закладки составит  $A_1B_1F_1E_1$ . Площадь  $A_1B_1C_1D_1$  будет в  $K_{yп}$  (коэффициент уплотнения пакетированной закладки) раз меньше площади закладочного пакета  $ABCD$ , соответственно площадь  $A_1B_1F_1E_1$  будет меньше начальной в  $K_{y3}$  раз.

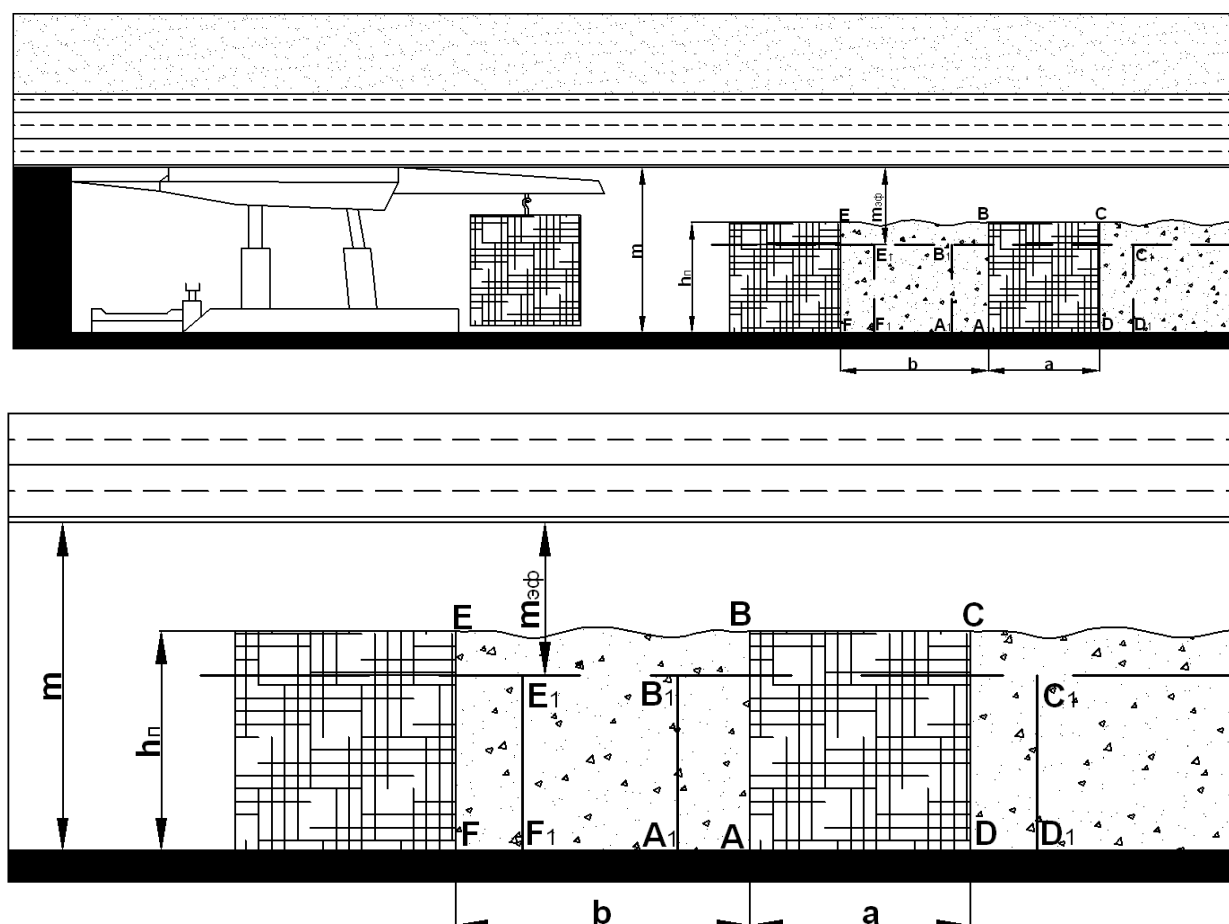
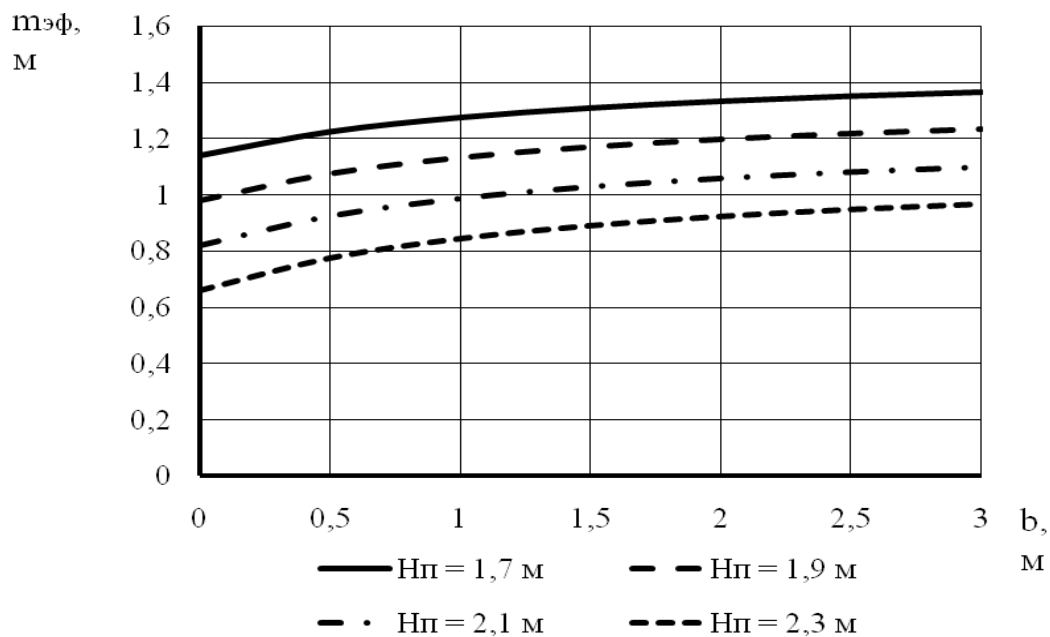


Рис. 1. Схема к определению эффективной вынимаемой мощности при комбинированной закладке выработанных пространств

Тогда вынимаемая эффективная мощность пласта  $m_{эф}$  будет определяться по следующей формуле:

$$m_{эф} = m_i - \frac{(a(1 - K_{уп}) + b(1 - K_{уз}))H_{п}}{a + b}. \quad (1)$$

В результате многовариантных исследований были получены графики зависимости вынимаемой эффективной мощности от расстояния между закладочными пакетами (частоты установки), представленные на рис. 2.



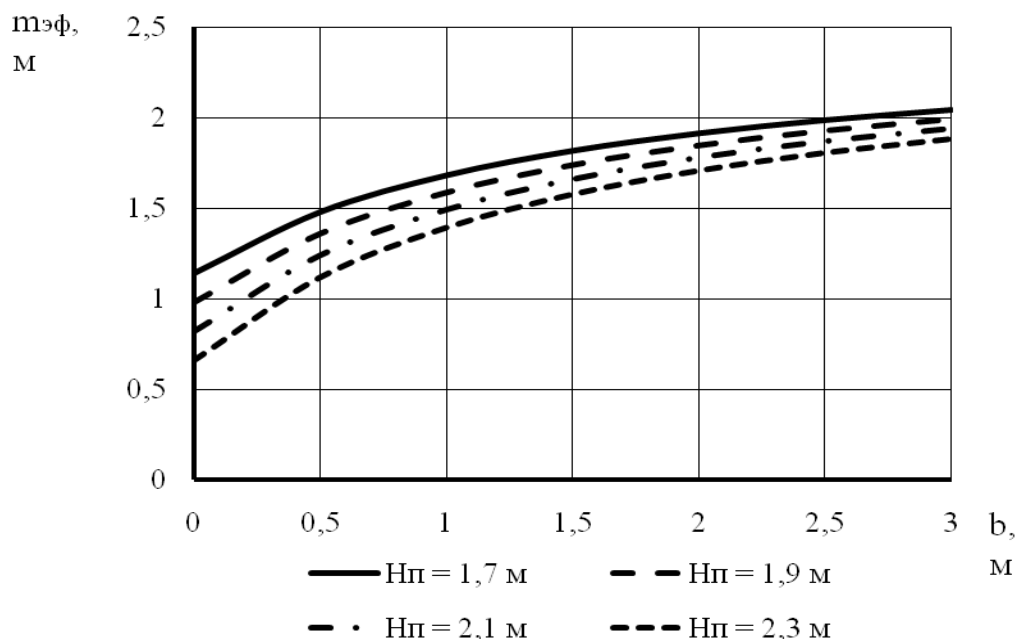
**Рис. 2. Зависимость  $m_{эф}$  от расстояния между закладочными пакетами при комбинированной закладке**

В случае если пневматическая закладка между рядами закладочных пакетов не производится, формула (1) примет следующий вид:

$$m_{эф} = m_i - \frac{a K_{уп} H_{п}}{a + b}. \quad (2)$$

Для установления влияния на эффективную мощность пневматической закладки был произведен расчет с теми же параметрами, что и при наличии пневматической закладки. Графически результаты расчеты представлены на рис. 3.

Сравнивая полученные результаты, можно отметить, что отсутствие пневматической закладки, приводит к значительному увеличению значений вынимаемой эффективной мощности пласта.



**Рис. 3. Зависимость  $m_{эф}$  от расстояния между закладочными пакетами при пакетированной закладке**

Для принятых горно-технологических параметров системы разработки и физических параметров закладочного массива с применением пневматической закладки при расстоянии между рядами пакетов 2 м (высота пакета 2,1 м) эффективная мощность составит 1,06 м. Если же рассматривать технологическую схему без применения пневмозакладки, то значение  $m_{эф} = 1,06$  м будет отвечать расстоянию между рядами пакетов 0,29 м. В результате возрастает объем работ, связанный с перемещением и установкой закладочных пакетов. В таких ситуациях применение пневматической закладки является вполне оправданным.

### Список литературы

1. Сарычев В.И., Харламов А.Е. Технологические схемы и параметры пакетированной закладки выработанных пространств в длинных очистных забоях// Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. Тула: Изд-во ТулГУ, 2010. Вып. 1. С. 203-209.
2. Копылов А.Б., Сарычев В.И., Харламов А.Е. Технологии ведения очистных работ в длинных очистных забоях: схемы с использованием пакетированной закладки выработанных пространств// Материалы 6-й Международной конференции по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики «Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики»/ ТулГУ, 27-29 октября 2010 г. Тула-Донецк-Минск. Тула. 2010. Т.1. С. 237-244.
3. Копылов А.Б., Сарычев В.И., Харламов А.Е. Обоснование пара-

метров эффективной технологии ведения очистных работ с использованием пакетированной закладки выработанных пространств // Материалы 7-й Международной конференции по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики «Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики»/ ТулГУ, 27-28 октября 2011 г. Тула-Донецк-Минск. Тула. 2011. Т.1. С. 281-285.

*Сарычев Владимир Иванович, д-р техн. наук, проф., [sarychevy@mail.ru](mailto:sarychevy@mail.ru), Россия, Тула, Тульский государственный университет,*

*Захаров Евгений Иванович, д-р техн. наук, проф., [sarychevy@mail.ru](mailto:sarychevy@mail.ru), Россия, Тула, Тульский государственный университет,*

*Жуков Сергей Сергеевич, канд. техн. наук, инженер, [sarychevy@mail.ru](mailto:sarychevy@mail.ru), Россия, Москва, Министерство чрезвычайных ситуаций*

**JUSTIFICATION OF COMBINED LAYING WITH TRADITIONAL EXTRACTION USING  
COMPLEX MECHANIZED FACES**

*V.I. Sarychev, E.I. Zaharov, S.S. Zhukov*

*Technology of the goaf combined laying with traditional schemes extraction complex mechanized faces considered; relation of takes effective width of stratum from the laying parameters derived.*

*Key words: batch laying, air laying, combined laying, takes effective width of stratum.*

*Sarychev Vladimir Ivanovich, doctor of technical sciences, professor, [sarychevy@mail.ru](mailto:sarychevy@mail.ru), Russia, Tula, Tula State University,*

*Zakharov Evgeniy Ivanovich, doctor of technical sciences, professor, [sarychevy@mail.ru](mailto:sarychevy@mail.ru), Russia, Tula, Tula State University,*

*Zhukov Sergey Sergeyevich, candidate of technical sciences, engineer, [sarychevy@mail.ru](mailto:sarychevy@mail.ru), Russia, Moscow, Ministry of Emergency Situations*

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ИМПУЛЬСНОЙ СТРУИ ВОДЫ В МОДУЛЯТОРЕ ГИДРОИМПУЛЬСНОГО ИНСТРУМЕНТА

А.Б. Жабин, А.В. Поляков, А.В. Поляков

*Представлена методика и приведены результаты теоретических исследований процесса формирования импульсной струи воды высокого давления в гидроимпульсном инструменте.*

*Ключевые слова: гидроимпульсный инструмент, струеформирующая насадка, наконечник, коэффициент формы насадки.*

Исследования и конструктивные разработки, выполненные как в России, так и зарубежом, убедительно показывают, что гидроимпульсная струя является универсальным инструментом для эффективного разрушения горных пород [1 - 4]. При этом на переднем крае совершенствования техники и технологии разрушения горных пород импульсными струями воды высокого давления наряду с реализацией сложнейших технологических проектов находятся задачи, связанные с совершенствованием гидроимпульсного оборудования и направленные на повышение качества формирования импульсных струй воды.

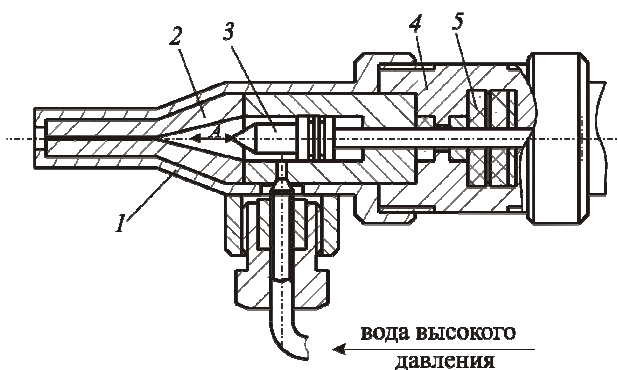
Для изучения закономерностей процесса формирования импульсной струи воды в гидроимпульсном инструменте, приведенного на рис. 1, была разработана расчетная математическая модель процесса течения жидкости в рабочих зонах модулятора и проведены теоретические исследования.

Следует отметить, что гидроимпульсный инструмент (см. рис. 1) реализует принцип внутреннего прерывания за счет специального устройства (прерывателя), установленного в корпусе модулятора 1, состоящего из наконечника 3 и струеформирующей насадки 2. Наконечник совершает возвратно-поступательное движение с амплитудой  $A$ , обеспечивает тем самым изменение зазора между насадкой и наконечником и как следствие изменение характера течения жидкости в модуляторе и создание, таким образом импульсной струи воды.

Простейшая полуэмпирическая математическая модель процесса формирования гидроимпульсной струи в инструменте (см. рис. 1) основывается на энергетическом принципе и строится посредством установления соотношения между энергией жидкости подводимой к модулятору и скоростью истечения струи из него.

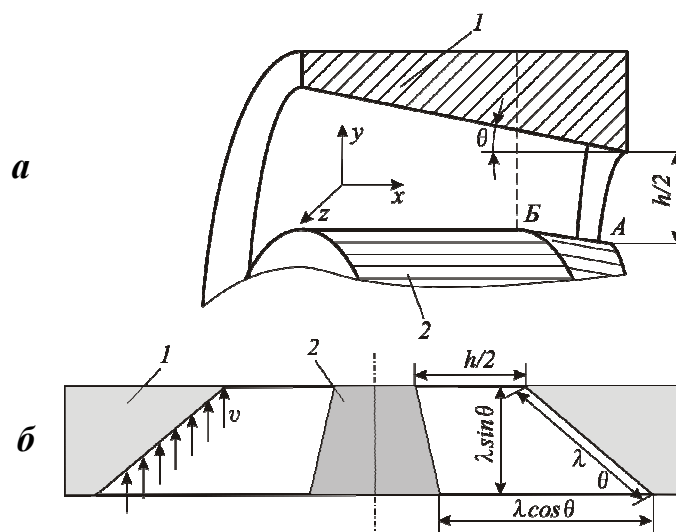
Исследование процесса формирования гидроимпульсной струи в модуляторе (см. рис. 1) является весьма сложной теоретической задачей.

Процесс течения жидкости в модуляторе зависит от целого ряда факторов, часть из которых при теоретических исследованиях просто невозможно учесть. Поэтому сформулирован ряд допущений. Так, при построении математической модели предполагалось, что скорость по сечению насадки одинакова; наконечник 3 совершает равномерное возвратно-поступательное движение с амплитудой  $A$ ; шероховатость деталей модулятора не оказывает влияние на процесс формирования гидроимпульсной струи; деформация деталей модулятора под воздействием давления воды отсутствует. Кроме того, нами не учитывались внутренний механизм турбулентных пульсаций и параметры состояния (температура и касательные напряжения) в модуляторе.



**Рис. 1. Схема гидроимпульсного инструмента: 1 – модулятор; 2 – струеформирующая насадка; 3 – наконечник; 4 – прижимной корпус; 5 – уплотнение высокого давления**

При построении математической модели на первом этапе предполагалось, что переменный кольцевой зазор между наконечником и насадкой (см. рис. 1) можно представить в виде усеченного конуса (рис. 2).



**Рис. 2. Схема кольцевого зазора между корпусом насадки 1 и наконечником 2: а – конструктивно-пространственная схема; б – поперечное сечение кольцевого зазора в виде усеченного конуса**

При построении математической модели процесса формирования гидроимпульсной струи воспользуемся законом сохранения импульса

$$T = \frac{dP}{dt}, \quad (1)$$

где  $P$  - импульс жидкости в модуляторе;  $t$  - текущее время.

Перепишем уравнение (1) в следующем виде:  $T = \frac{dP}{dt} = \frac{d}{dt}(m \cdot v)$ .

Или, разделяя переменные, получим

$$T = m \cdot \frac{dv}{dt} + v \cdot \frac{dm}{dt}, \quad (2)$$

где  $m$  - масса жидкости, находящейся в рабочих зонах модулятора;  $v$  - скорость жидкости.

В первом приближении уравнение (2) можно представить в следующем виде:

$$T \approx m \cdot \frac{\Delta v}{\Delta t} + v \cdot \frac{\Delta m}{\Delta t}. \quad (3)$$

Масса жидкости, находящейся в рабочих зонах модулятора, может быть вычислена по известной формуле

$$m = V \cdot \rho, \quad (4)$$

где  $V$  - объем жидкости, находящейся в рабочих зонах модулятора;  $\rho$  - плотность жидкости.

Тогда  $\Delta m = \Delta V \cdot \rho$ .

Подставляя значения  $m$  и  $\Delta m$  в выражение (3), находим

$$T \approx (\rho \cdot V) \frac{\Delta v}{\Delta t} + \frac{(\rho \cdot \Delta V)}{\Delta t} \cdot v, \text{ или } T \approx \left( \frac{\rho}{\Delta t} \right) (V \cdot \Delta v + v \cdot \Delta V). \quad (5)$$

Окончательно, получим

$$T \propto V \cdot \Delta v + v \cdot \Delta V,$$

или

$$T(t_n) \propto V(t_n) \cdot (v(t_n) - v(t_{n-1})) + v(t_n) \cdot (V(t_n) - V(t_{n-1})). \quad (6)$$

Из зависимости (6) следует, что для определения скорости течения жидкости в рабочих зазорах модулятора достаточно определить изменение объема кольцевого зазора между наконечником и насадкой. Другими словами, измерив величины  $\lambda$ ,  $h$  и  $\theta$  (см. рис. 2), можно установить закономерность изменения скорости импульсной струи воды при ее формировании в модуляторе.

В действительности профиль кольцевого зазора между наконечником и насадкой представляет собой криволинейную поверхность. Тогда скорость может быть рассчитана по выражению

$$v = \frac{d}{dt}(\lambda \cdot \sin \theta). \quad (7)$$

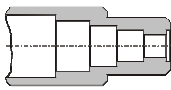
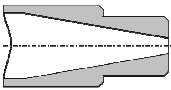
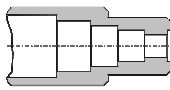
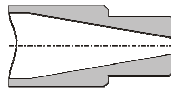
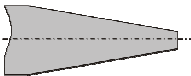
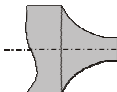
На основании разработанной простейшей модели процесса форми-

рования импульсной струи воды в модуляторе нами исследовались ступенчатая цилиндрическая, коническая и экспоненциальная формы внутреннего профиля насадки, а также коническая и экспоненциальная формы наружного профиля наконечника. Угол при вершине для ступенчатого цилиндрического внутреннего профиля, а также для конической формы насадки и наконечника был принят 8 градусов.

Возможные сочетания различных форм наконечника и насадки сведены в табл. 1, где каждому варианту присвоен условный номер.

Таблица 1

**Сочетания форм наконечника и насадки**

| Внутренний профиль насадки                                                          |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                       |                                                                                     |                                                                                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| в виде ступенчатого цилиндра                                                        | конический                                                                        | Экспоненциальный                                                                  | в виде ступенчатого цилиндра                                                          | конический                                                                          | Экспоненциальный                                                                    |
|    |  |  |      |  |  |
| Наружная форма наконечника                                                          |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                       |                                                                                     |                                                                                     |
| Коническая                                                                          |                                                                                   |                                                                                   | Экспоненциальная                                                                      |                                                                                     |                                                                                     |
|  |                                                                                   |                                                                                   |  |                                                                                     |                                                                                     |
| Условный номер варианта                                                             |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                       |                                                                                     |                                                                                     |
| (1)                                                                                 | (2)                                                                               | (3)                                                                               | (4)                                                                                   | (5)                                                                                 | (6)                                                                                 |

Методика исследований заключалась в следующем. Амплитуда (перемещение) наконечника  $A$ , разбивается на равные промежутки, соответствующие текущему положению наконечника относительно насадки, и в среде Компас-график прорисовывается данное положение. Далее это изображение сохраняется в файл с расширением .jpg и с разрешением не менее 600 точек на дюйм, в дальнейшем этот файл используется для определения скорости жидкости в рабочем зазоре модулятора. Далее в среде Adobe Photoshop с использованием вложенных средств измерения определяются величины  $\lambda$ ,  $h$  и  $\theta$  (см. рис. 2). После измерения эти данные импортируются в Microsoft Excel, где они анализируются, и формируется график. Данная методика теоретических исследований реализована в виде единой прикладной программы в среде MATLAB.

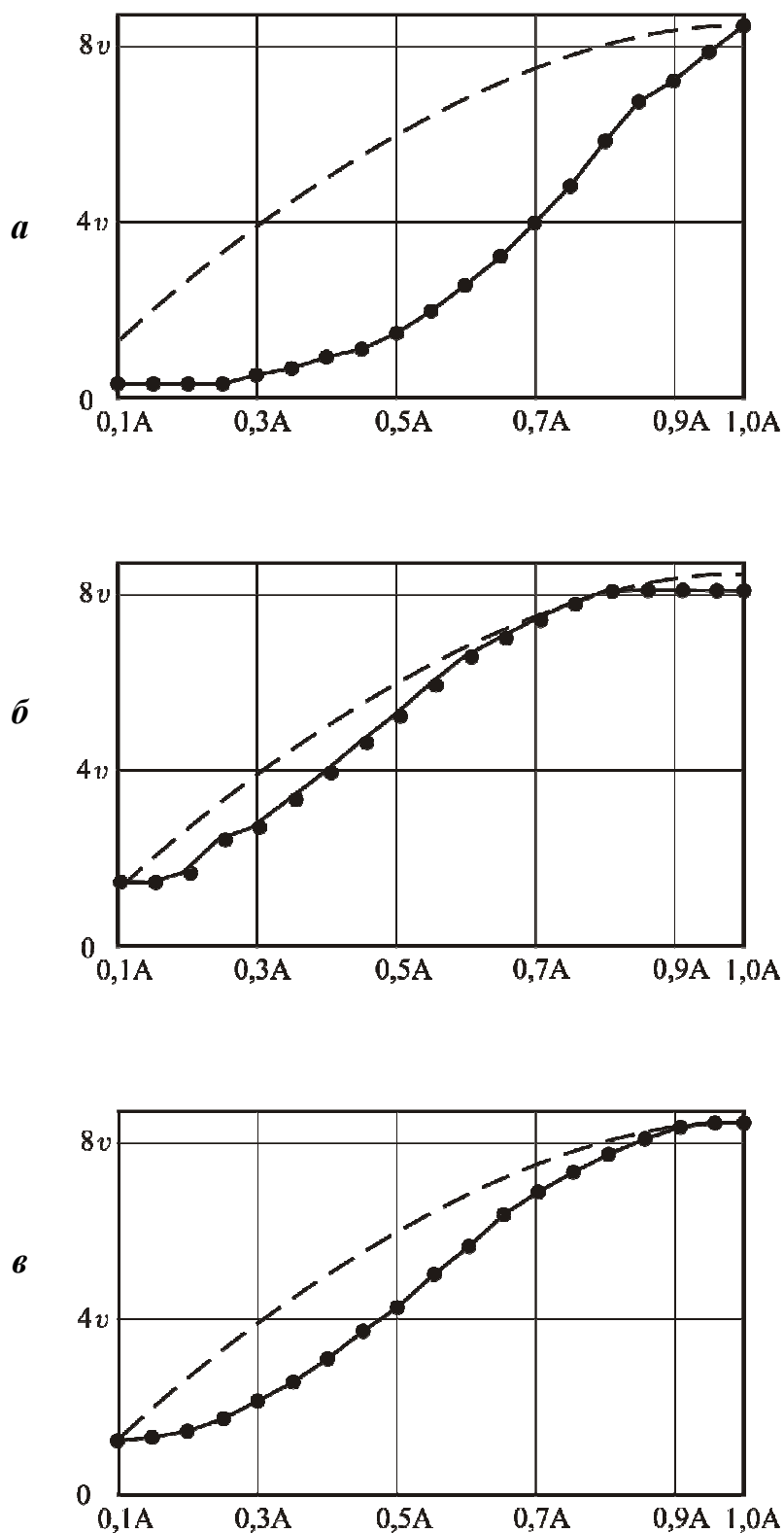
В качестве основного критерия оценки эффективности процесса формирования гидроимпульсной струи, получаемой внутренним прерыванием за счет модулятора (см. рис. 1), был принят синусоидальный закон изменения скорости струи в модуляторе как наиболее эффективный [5].

Значения амплитуды пульсации наконечника  $A$  и получаемые в результате теоретических исследований соответствующие им значения скорости струи  $V$  для выбранных нами форм насадки и наконечника приведены на рис. 3 и 4. Здесь штриховой линией показана идеальная (синусоидальная) форма импульса скорости струи воды. Следует отметить, что на рис. 3 и 4 приведен характер изменения скорости жидкости в рабочих зонах модулятора, который соответствует рабочему (прямому) ходу наконечника (по рис. 1 - перемещение влево).

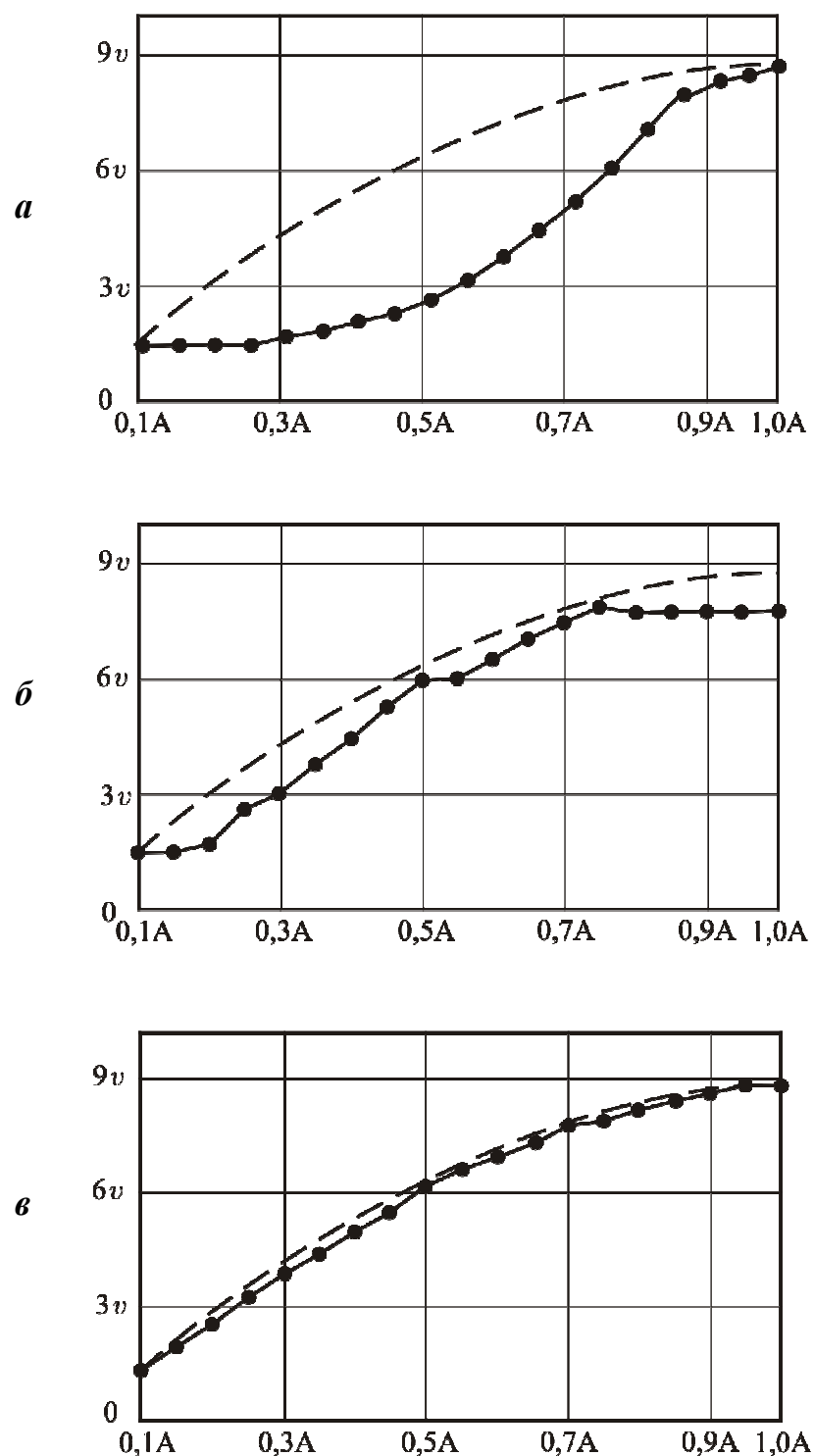
Из анализа результатов теоретических исследований (см. рис. 3 и 4), следует, что независимо от внутреннего профиля насадки характер изменения скорости течения жидкости в рабочих зонах модулятора (форма импульса скорости струи воды) в зависимости от амплитуды (перемещения) наконечника качественно подобен. Как и прежде [6] установлено, что с уменьшением зазора между насадкой 2 и наконечником 3 (см. рис. 1), соответствующее увеличению амплитуды пульсации наконечника  $A$ , скорость жидкости увеличивается. Из рис. 3 и 4 видно, что скорость течения жидкости в рабочих зонах модулятора с уменьшением зазора между насадкой и наконечником увеличивается примерно в 8 - 9 раз. Из анализа результатов исследования (см. рис. 3 и 4) видно, что наиболее близкое совпадение с синусоидальной формой импульса скорости струи воды было достигнуто при совмещении экспоненциального внутреннего профиля насадки и экспоненциальной наружной формы наконечника (см. рис. 4, в).

Площадь поверхности, ограниченная кривыми изменения скорости струи воды и осью абсцисс (см. рис. 3 и 4), представляет собой ничто иное, как энергию струи. При этом степень тесноты связи между идеальной кривой (синусоидой) изменения скорости гидроимпульсной струи и полученной в ходе исследований характеризует эффективность передачи энергии струе в гидроимпульсном инструменте, и может быть оценена коэффициентом формы  $K_\phi$ .

Алгоритм вычислений коэффициента формы заключается в следующем. Вычисляется абсолютное отклонение площадей под идеальной кривой (синусоидой) изменения скорости гидроимпульсной струи и полученной в ходе исследований (см. рис 3 и 4). Поскольку, функциональные зависимости для расчета параметров процесса гидроимпульсного резания горных пород и параметров импульсной струи воды [7], полученные нами ранее, пригодны для гидроимпульсного инструмента с коническим наконечником и конической насадкой, то для такого инструмента коэффициент формы  $K_\phi$  примем равным единице. Другими словами, характер изменения скорости течения жидкости в рабочих зонах модулятора, показанный на рис 3, б, является образцом (эталоном) сравнения, относительно которого и производится расчет коэффициента формы  $K_\phi$  для всех вариантов конструктивного исполнения насадки и наконечника.



**Рис. 3. Зависимость скорости течения жидкости в рабочих зонах модулятора: а - по варианту (1); б – по варианту (2); в – по варианту (3) (см. табл. 1)**

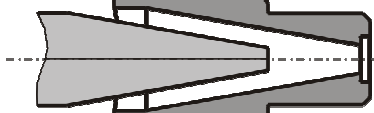
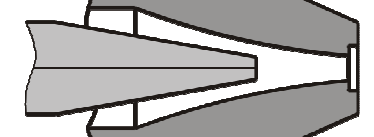
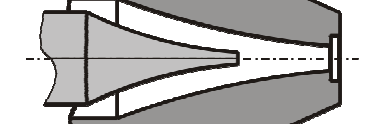


**Рис. 4. Зависимость скорости течения жидкости в рабочих зонах модулятора: а - по варианту (4); б – по варианту (5); в – по варианту (6) (см. табл. 1)**

Посредством обработки результатов теоретических исследований получены значения коэффициента формы  $K_\phi$ , представленные в табл. 2.

Таблица 2

Значения коэффициента формы  $K_\phi$ 

| Конструктивное исполнение и условный номер по табл. 1                               |     | Значения коэффициента формы, $K_\phi$ |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|---------------------------------------|
|    | (1) | 0,22                                  |
|    | (2) | 1,0                                   |
|    | (3) | 0,54                                  |
|    | (4) | 0,26                                  |
|   | (5) | 0,75                                  |
|  | (6) | 1,47                                  |

Рассчитанный ряд коэффициентов (см. табл. 2) применим к функциональным зависимостям для расчета рациональных режимов разрушения горных пород импульсной струей воды и определения ее параметров [7]:

- глубина нарезаемой щели

$$\frac{h}{d_0} = K_\phi \cdot 0,055 \cdot (S_d)^{-0,03} \cdot \left(\frac{l_0}{L}\right)^{0,24} \cdot \left(\frac{P_0}{\sigma_{сжс}}\right)^{0,78} \cdot \left(\frac{v_0}{v_{n.p}}\right)^{0,38}; \quad (10)$$

- безразмерный параметр гидроимпульсной струи

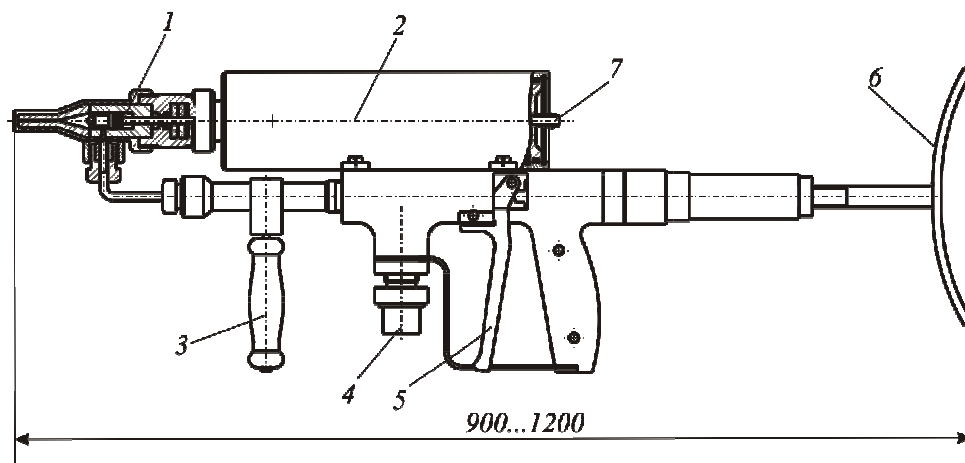
$$S_d = K_\phi \cdot 55,7 \cdot \exp(-108,0 \cdot l_0); \quad (11)$$

- рациональная скорость перемещения импульсной струи

$$\frac{v_0}{v_{n.p}} = K_\phi \cdot 1480,3 \cdot (S_d)^{-0,038} \cdot \left(\frac{P_0}{\sigma_{сжс}}\right)^{-0,071} \cdot \left(\frac{l_0}{L}\right)^{-0,51}, \quad (12)$$

где  $h$  - глубина прорезаемой щели;  $d_0$  - диаметр отверстия струеформирующей насадки;  $S_d$  - безразмерный параметр импульсной струи воды вы-

сокого давления;  $l_0$  - расстояние от среза гидроимпульсного инструмента до поверхности горной породы;  $L$  - длина волны импульсной струи воды высокого давления;  $P_0$  - давление воды перед струеформирующей насадкой;  $\sigma_{сж}$  - прочность горной породы на сжатие;  $v_0$  - скорость истечения воды из струеформирующей насадки;  $v_{н.р}$  - рациональная скорость перемещения гидроимпульсного инструмента над поверхностью горной породы.



**Рис. 5. Ручной инструмент для гидроимпульсного резания горных пород: 1 – модулятор; 2 – блок управления; 3 – рукоятка; 4 – штуцер для подачи воды высокого давления; 5 – запорный механизм; 6 – телескопический приклад; 7 – штуцер подачи электрических сигналов от генератора**

Выполненные теоретические исследования процесса формирования импульсной струи являются одним из наиболее важных этапов исследований и с учетом уже имеющегося научного задела в этой области необходимы для расчета, обоснованного выбора параметров и проектирования гидроимпульсного инструмента нового технического уровня. Схема такого инструмента представлена на рис. 5. Дальнейшие научно-исследовательские и опытно конструкторские работы в этой области неразрывно связаны с исследованием, разработкой и созданием системы управления наконечником, способной обеспечить частоту пульсации наконечника, а следовательно и скорости гидроимпульсной струи, не менее 15 кГц. Подробное описание и результаты исследований такой системы будет представлены нами в последующих публикациях.

### Список литературы

1. Поляков А.В., Жабин А.Б., Головин К.А. Разрушение горных пород импульсными высокоскоростными струями воды // Горное оборудова-

ние и электромеханика. 2006. №4. С. 43 – 46.

2. Поляков А.В. Гидроимпульсный инструмент с пневмоэлектрическим приводом прерывателя// Материалы Всероссийского смотра – конкурса научно-технического творчества студентов высших учебных заведений «Эврика-2005:– Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2005. С. 152 – 156.

3. Поляков А.В. Некоторые способы получения гидроимпульсных струи // Материалы 3-ей Всероссийской конф. Студентов и молодых ученых «Георесурсы и геотехнологии» / ТулГУ. Тула. 2005. С. 78 – 84.

4. Vijay M.M. Numerical analysis of pulsed jet formation by electric discharge in nozzle. Pros. 14th International Conference on Jetting technology, Brugge, Belgium. 1998. pp. 73 – 89.

5. Могендович Е.М. Гидроимпульсные системы. Л.: машиностроение, 1977. 216 с.

6. Башта Т.М. Гидравлические приводы летательных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1967. 495 с.

7. Поляков А.В., Жабин А.Б. Методика расчета основных параметров и показателей процесса резания горных пород гидроимпульсным инструментом // Горное оборудование и электромеханика. 2008. №4. С. 21 - 27.

*Жабин Александр Борисович, д-р техн. наук, проф., Россия, Тула, Тульский государственный университет,*

*Поляков Алексей Вячеславович, канд. техн. наук, Россия, Тула, Тульский государственный университет,*

*Поляков Андрей Вячеславович, канд. техн. наук, техн. директор, Россия, Тула, ООО «Экспертный центр технологической безопасности»*

#### THEORETICAL RESEARCH OF PULSE JETS OF WATER INTO THE MODULATOR HYDRO IMPULSIVE TOOL

A.B. Zhabin, A.V. Poljakov, A.V. Poljakov

*Presents the methods and results of theoretical studies of the process of formation of a pulse jet high-pressure water in гидроимпульсном instrument.*

*Key words: hydraulic pulse tool tool that generates a stream nozzle tip, shape factor of the nozzle.*

*Zhabin Aleksandr Borisovich, doctor of technical sciences, professor, [sarychevy@mail.ru](mailto:sarychevy@mail.ru), Russia, Tula, Tula State University,*

*Poljakov Aleksej Vjacheslavovich, candidate of technical sciences, Russia, Tula, Tula State University,*

*Poljakov Anrej Vjacheslavovich, candidate of technical sciences, Russia, Tula, technical Director of LLC «Expert centre of technological safety»*

## **МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ИСТОЧНИКОВ ВОДЫ СВЕРХВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ ПРОХОДЧЕСКИХ КОМБАЙНОВ**

А.Б. Жабин, А.В. Поляков, А.В. Поляков

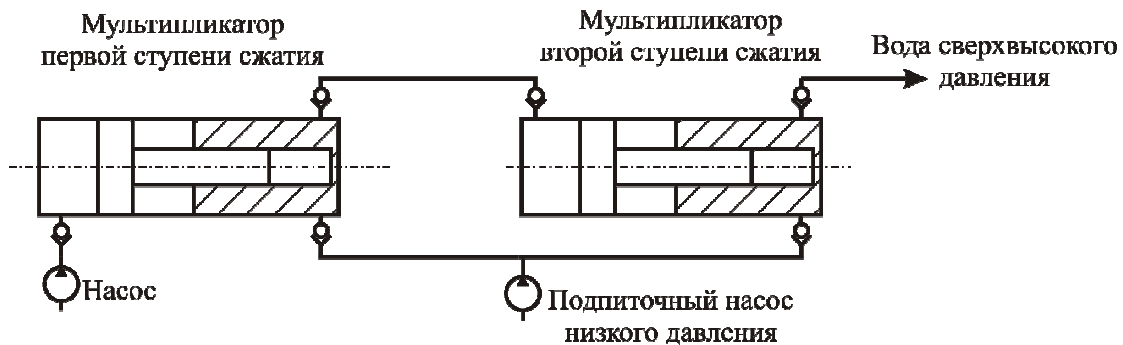
*Представлена методика расчета габаритных размеров гидромultiпликатора, его конструктивных и гидравлических параметров, а также в целом параметров источника воды сверхвысокого давления для гидромеханических исполнительных органов проходческих комбайнов.*

*Ключевые слова: гидромultiпликатор, сверхвысокое давление воды, методика расчета.*

Оценивая результаты современного состояния науки и практики в области гидромеханического способа разрушения горных пород и создания на его основе гидромеханических исполнительных органов проходческих комбайнов [1], необходимо отметить следующее. Для расширения области применения проходческих машин избирательного действия с гидромеханическими исполнительными органами на более крепкие породы требуется или использовать импульсные струи воды высокого давления [1], или повышать давление воды до сверхвысоких значений (200 МПа и более).

Анализ возможных вариантов комплектования оборудования для разрушения крепких горных пород тонкими струями воды сверхвысокого давления при реализации гидромеханического способа разрушения [2,3] позволил выявить наиболее эффективный вариант, реализация которого существенно не повлияет на усложнение конструкции и увеличение массы и габаритов гидромеханического исполнительного органа проходческого комбайна. Так, для получения давления воды свыше 200 МПа представляется целесообразным использование схемы ее многоступенчатого сжатия (в нашем случае двухступенчатого), представленной на рис. 1. В этом случае преобразователь давления второй ступени сжатия, состоящий из нескольких мультипликаторов, может быть встроен в исполнительный орган проходческого комбайна или расположен автономно от него. Принцип работы исполнительного органа со встроенным в режущую коронку преобразователем давления подробно описан в работе [2]. При этом преобразователь давления, также состоящий из нескольких мультипликаторов, или насос первой ступени сжатия располагается на раме комбайна или в выработке. В то же время при использовании этой схемы практически нет конструктивных ограничений для повышения давления, вплоть до величины 500 МПа и более [2]. Это объясняется тем, что при такой схеме компоновки гидромеханического исполнительного органа под сверхвысоким давле-

нием работает лишь небольшое число элементов (уплотнительные элементы и гидромеханический инструмент).



**Рис. 1. Схема двухступенчатого сжатия воды**

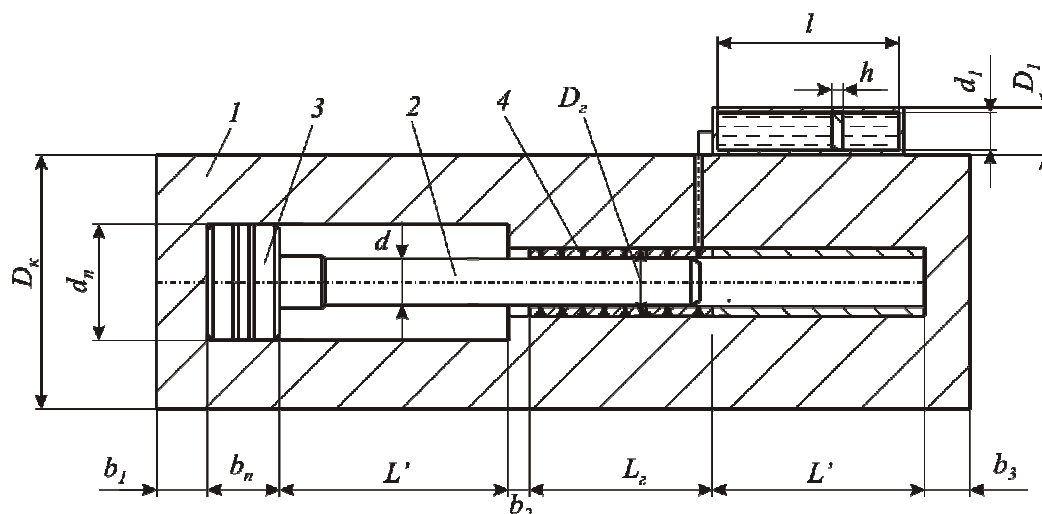
Известно [4], что в конструкциях преобразователей сверхвысокого давления (последняя ступень сжатия) единственными пригодными являются бесконтактные щелевые уплотнения. Щелевое уплотнение представляет собой тонкостенную гребешковую гильзу с камерами противодействия с натягом запрессованную в корпус мультипликатора и образующую кольцевой зазор с плунжером мультипликатора. Однако при работе на сверхвысоких давлениях утечки жидкости через зазор между плунжером и гильзой, а также раскрывающийся натяг между гильзой и корпусом мультипликатора становятся соизмеримы с производительностью мультипликатора. Снижение утечек через зазоры уплотнения может быть достигнуто за счет подвода к нему запирающей (более вязкой) жидкости, например, машинного масла [5].

Установление взаимосвязи габаритных размеров встраиваемого в режущую коронку преобразователя давления второй (последней) ступени сжатия с его параметрами (давление и расход воды) и параметрами исполнительного органа определяет необходимость дальнейшего развития методов расчета и проектирования таких исполнительных органов.

Необходимо отметить, что методика расчета и проектирования по встраиваемости преобразователей давления в режущие коронки гидромеханических исполнительных органов проходческих комбайнов носит независимый характер и рассмотрена в работе [2].

При расчете геометрии мультипликатора второй ступени сжатия, оснащенного бесконтактным уплотнением и запирающей жидкостью, исходными параметрами являются: давление воды на выходе из мультипликатора второй ступени сжатия  $P_0$  и его подача  $Q_0$ . Это относится и в целом к преобразователю давления, состоящего из нескольких ступеней сжатия. Значения  $P_0$  и  $Q_0$  выбираются исходя из закономерностей резания породного массива струями воды сверхвысокого давления [5].

Расчетная схема мультипликатора второй ступени сжатия представлена на рис. 2.



**Рис. 2. Расчетная схема гидромultiпликатора:**  
**1- корпус multiпликатора; 2 – плунжер; 3 - поршень;**  
**4 – гильза бесконтактного уплотнения; 5 – импульсный механизм**  
**подачи запирающей жидкости**

Для упрощения расчетных зависимостей, а также с целью использования этих зависимостей для семейства геометрически подобных multiпликаторов, введены следующие безразмерные коэффициенты [7]:

$$K_n = \frac{L}{d} - \text{коэффициент плунжера}; \quad (1)$$

$$K_z = \frac{L_z}{d} - \text{коэффициент гильзы}; \quad (2)$$

$$K_\delta = \frac{\delta}{d} - \text{коэффициент зазора}, \quad (3)$$

где  $L$  - ход плунжера;  $d$  - диаметр плунжера;  $L_z$  - длина гильзы;  $\delta$  - радиальный зазор между плунжером и гильзой.

Для плунжеров диаметром 5 - 30 мм значения коэффициентов плунжера  $K_n$  и гильзы  $K_z$  в зависимости от давления воды приведены в табл. 1, а значения коэффициента зазора  $K_\delta$  принимаются равными  $(4,0 - 4,8) \cdot 10^{-4}$ .

**Таблица 1**  
**Значения коэффициентов плунжера  $K_n$  и гильзы  $K_z$**

| Коэффициент | Давление $P_0$ , МПа |      |      |      |      |      |      |
|-------------|----------------------|------|------|------|------|------|------|
|             | 50                   | 100  | 200  | 300  | 400  | 500  | 600  |
| $K_n$       | 2,5                  | 3,4  | 4,5  | 5,25 | 5,75 | 6,25 | 6,83 |
| $K_z$       | 2,75                 | 3,74 | 4,95 | 5,78 | 6,32 | 6,87 | 7,5  |

**Диаметр плунжера мультипликатора.** Теоретический объем жидкости  $q_1$ , нагнетаемой за один ход плунжера, определяется по выражению

$$q_1 = \frac{\pi d^2}{4} L. \quad (4)$$

Расчетный объем заплунжерного пространства гидромultiпликатора  $V$  с учетом утечек, сжимаемости жидкости, влияния вредного пространства и деформации рабочих камер определяют по формуле

$$V = \frac{Q_0}{n_{и.о.} \cdot n_m} = q_1 - \Delta V_{сж} - \Delta V_{ym} - \Delta V_{вр}, \quad (5)$$

где  $\Delta V_{сж}$  - уменьшение объема жидкости за счет сжатия за время одного хода;  $\Delta V_{ym}$  - объем утечек через зазор между плунжером и гильзой за время одного хода;  $\Delta V_{вр}$  - увеличение объема вредного пространства за счет деформации рабочей камеры и плунжера.

Уменьшение объема жидкости за счет сжатия с учетом вредного пространства рассчитывают по зависимости

$$\Delta V_{сж} = \frac{\Delta P (q_1 - V_{вр})}{E}, \quad (6)$$

где  $\Delta P = P_0 - P_n$  - разность давления на выходе из гидромultiпликатора и на входе в него,  $P_n$  - давление насоса подпитки,  $V_{вр}$  - объем вредного пространства (принимается конструктивно наименьшим),  $E$  - модуль упругости рабочей жидкости.

При определении диаметра плунжера необходимо учитывать объем утечек и то, что в результате приложения к плунжеру осевой сжимающей силы

$$N = P_0 \frac{\pi d^2}{4}, \quad (7)$$

последний испытывает поперечную деформацию, вследствие чего первоначальный зазор в плунжерной паре уменьшается. Абсолютное значение поперечной деформации плунжера  $\Delta d$  может быть найдено по формуле, которая с учетом соотношения (7) имеет вид

$$\Delta d = \nu \frac{P_0 d}{E'}, \quad (8)$$

где  $\nu$  - коэффициент Пуассона;  $E'$  - модуль упругости материала плунжера.

Объем утечек жидкости через зазор между плунжером и гильзой определяют по формуле

$$\Delta V_{ym} = 2,5 \frac{\pi \cdot P_0 \cdot (\delta - \Delta d)^3 \cdot t \cdot d}{12 \mu \cdot L_z}, \quad (9)$$

где  $t$  - время одного рабочего хода плунжера,  $\mu$  - динамическая вяз-

кость жидкости при  $t = 20\text{ C}^0$ .

Время одного рабочего хода мультипликатора определяется по выражению

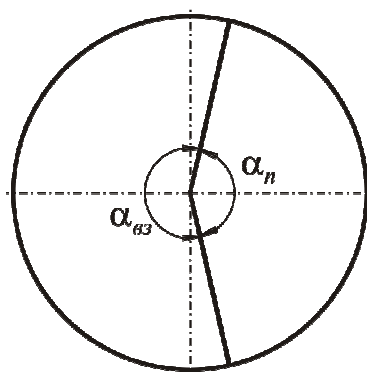
$$t = \frac{K_\phi}{n_{u.o.}}, \quad (10)$$

где  $n_{u.o.}$  - число оборотов исполнительного органа комбайна;  $K_\phi$  - коэффициент рабочей фазы гидромultiпликатора.

Учитывая то, что на одной половине оборота вала исполнительного органа каждый мультипликатор совершает взвод, а на другой – рабочий ход, теоретический коэффициент рабочей фазы мультипликатора равен 0,5 [3]. Принимая во внимание, что в начале и в конце рабочего хода, когда резцы входят в контакт с породным массивом и выходят из него, глубина стружки является незначительной по величине, то нецелесообразно в этот промежуток времени подавать высоконапорную воду к инструменту. Поэтому коэффициент рабочей фазы мультипликатора (рис. 3) определится по выражению

$$K_\phi = \frac{\alpha_n}{360}, \quad (11)$$

где  $\alpha_n$  - рабочая фаза подачи жидкости в мультипликатор, град ( $\alpha_n < 180^0$  и задается конструктором).



**Рис. 3. Фазы работы гидромultiпликатора**

Зазор между плунжером и гильзой с учетом деформации плунжера и уравнения (3) будет равен

$$\delta - \Delta d = K_\delta \cdot d - v \frac{P_0 \cdot d}{E'} = d \cdot \left( K_\delta - v \frac{P_0}{E'} \right). \quad (12)$$

Увеличение объема вредного пространства выражается формулой

$$\Delta V_{ep} = \frac{P_0 \cdot V_{ep}}{E''}, \quad (13)$$

где  $E''$  - модуль упругости материала корпуса мультипликатора.

Выражение для определения расчетного объема заплунжерного пространства с учетом уравнения (5) и зависимостей (1), (2), (3), (6), (9), (12) и (13) будет иметь следующий вид:

$$V = 0,785d^3 \left[ K_n - \frac{\Delta P \cdot K_n}{E} - 2,5 \frac{P_0 \cdot \left( K_\delta - v \cdot \frac{P_0}{E'} \right)^3 t}{3\mu \cdot K_z} \right] - \frac{\Delta P \cdot V_{ep}}{E} - \frac{\Delta P \cdot V_{ep}}{E''}. \quad (14)$$

При решении уравнения (14) относительно диаметра плунжера получим

$$d = \sqrt[3]{\frac{V + \frac{\Delta P V_{ep}}{E} + \frac{P_0 V_{ep}}{E''}}{0,785 \left[ K_n - \frac{\Delta P K_n}{E} - 2,5 \frac{P_0 \left( K_\delta - v \frac{P_0}{E'} \right)^3 t}{3\mu K_z} \right]}}. \quad (15)$$

Найденный по формуле (15) диаметр плунжера округляют до ближайшего стандартного размера и по формулам (1 – 3) находят ход плунжера, длину гильзы (см. рис. 2) и радиальный зазор между плунжером и гильзой.

**Диаметр поршня мультипликатора.** Для определения диаметра поршня мультипликатора используем равенство усилий, действующих на поршень:

$$F = \frac{\pi D_n^2}{4} \cdot P_1 = \frac{\pi}{4} (D_n^2 - d^2) \cdot P_B + \frac{\pi d^2}{4} P_0, \quad (16)$$

где  $P_0$  - давление во взводящей камере мультипликатора (выбирается в соответствии с [3]);  $P_1$  - давление в поршневой полости преобразователя давления второй ступени сжатия (задается конструктором).

Из равенства (16) определяем диаметр поршня

$$D_n = \sqrt{\frac{d^2 \cdot (P_0 - P_B)}{P_1 - P_B}}. \quad (17)$$

Полученное значение диаметра поршня округляют в большую сторону до ближайшего из ряда диаметров стандартных уплотнений.

**Ход плунжера мультипликатора с учетом уточненного значения утечек.** Расчетный объем заплунжерного пространства как было отмечено ранее, определяют по уравнению (5). При этом утечки жидкости через зазор между плунжером и гильзой рассчитывают по формуле (9), а поперечную деформацию плунжера - по зависимости (8). Однако в формулу (9) входит величина динамической вязкости  $\mu$ , которая не учитывает изме-

нение температуры и давления рабочей жидкости при дросселировании ее через радиальные зазоры, а величина поперечной деформации, вычисленная по формуле (8), является средней и не учитывает «обжатие» плунжера давлением по длине гильзы.

Чтобы более точно определить для расчетного объема всего заплунжерного пространства соответствующий ему ход плунжера необходимо в уравнение (5) внести уточненный объем утечек  $\Delta V'_{ym}$  через зазор между плунжером и гильзой за время одного хода.

Результаты исследований процесса работы бесконтактного уплотнения с запирающей жидкостью показали [5], что в мультипликаторе второй ступени сжатия, оснащенном таким уплотнением, утечки рабочей жидкости через указанные выше зазоры составляют в среднем 10% от производительности мультипликатора.

Таким образом, решая уравнение (5) с учетом уточненного объема утечек  $\Delta V'_{ym}$  относительно хода плунжера  $L$  и пренебрегая увеличением объема вредного пространства за счет деформации рабочей камеры плунжера из-за его малости, определяют уточненный ход поршня  $L'$  (см. рис. 2) по следующей зависимости:

$$L' = \frac{E(V + V_{sp} + \Delta V'_{ym}) + \Delta P \cdot V_{sp}}{0,785d^2 \cdot (E - \Delta P)}. \quad (18)$$

**Длина мультипликатора.** Согласно рис.2 длина мультипликатора определяется по выражению

$$L_m = 2L' + L_z + b_1 + b_2 + b_3 + b_n, \quad (19)$$

где  $b_1$  и  $b_2$  - толщины донышек мультипликатора;  $b_3$  - запас хода;  $b_n$  - ширина поршня.

Величины  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$  и  $b_n$  являются конструктивными элементами и задаются в процессе проектирования.

**Наружный диаметр гильзы.** Наружный диаметр гильзы  $D_2$  (см. рис. 2) выбирают конструктивно, исходя из ее минимальной толщины, что обеспечивает стабилизацию рабочего зазора между плунжером и гильзой.

**Наружный диаметр корпуса мультипликатора.** Выбор размеров корпуса мультипликатора следует производить из прочностных соображений. Прочностным критерием для расчета корпуса мультипликатора является предел текучести материала  $\sigma_T$ . Корпус мультипликатора может быть как однослойным, так и многослойным.

Для расчета однослойного корпуса мультипликатора используют следующее соотношение:

$$\sigma_T \leq m \cdot P_0 \frac{2D_K^2}{D_K^2 - d_K^2}, \quad (20)$$

где  $P_0$  - максимальное рабочее давление,  $m$  - коэффициент запаса прочности. Отсюда наружный диаметр корпуса (см. рис. 1) определяют по формуле

$$D_k = d_k \sqrt{\frac{\sigma_T}{\sigma_T - 2m \cdot P_0}}. \quad (21)$$

Из формулы (21) видно, что однослойная конструкция при запасе прочности  $m=1$  позволяет реализовать максимальное давление воды  $P_0$  не превышающее величину  $\sigma_T$ . Тем не менее, запас прочности следует выбирать в пределах 1,5-2 и выше. Таким образом, в мультипликаторе с однослойным корпусом (при  $\sigma_{T \max} = 1400$  МПа) можно реализовать давление  $0,5 \cdot 1400 / (1,6 \div 2) = 350 \div 438$  МПа.

При использовании многослойного корпуса, который состоит из нескольких (обычно двух) корпусов, посаженных друг на друга с натягом, наружный диаметр внутренней трубы (внутренний диаметр наружной трубы)  $D_{кр}$  (средний диаметр корпуса) с учетом минимальных напряжений, возникающих в корпусе мультипликатора, выбирают из соотношения

$$D_{кр} = \sqrt{D_k \cdot d_k}, \quad (22)$$

а диаметр наружного диаметра корпуса (см. рис. 2) определяют по зависимости

$$D_k = d_k \frac{\sigma_T}{\sigma_T - m \cdot P_0}. \quad (23)$$

**Импульсный механизм подачи запирающей жидкости.** Расход запирающей жидкости (минерального масла) необходимый для уплотнения зазора за один ход плунжера определяется из выражения

$$q_2 = \frac{\pi \cdot d_1^2 \cdot l}{4}, \quad (24)$$

где  $d_1$  - внутренний диаметр корпуса импульсного механизма подачи запирающей жидкости (см. рис. 2);  $l$  - величина хода разделителя сред (задается конструктивно).

С учетом того, что расход запирающей жидкости  $q_2$  определяется с применением численных методов по алгоритму, приведенному в работе [8], внутренний диаметр корпуса импульсного механизма подачи (см. рис. 2) найдем из выражения (24)

$$d_1 = \sqrt{\frac{4q_2}{\pi \cdot l}}. \quad (25)$$

Толщина разделителя сред  $h$  (см. рис. 2) задается конструктивно, минимальное значение выбирается исходя из обеспечения его прочности.

Выбор материала и расчет внешнего диаметра импульсного меха-

низма подачи рассчитывается по аналогии с расчетом корпуса мультипликатора (см. ф-лы (20) –(23)).

Расход масляного насоса, необходимый для уплотнения плунжерной пары запирающей жидкостью, определяют по формуле

$$Q_m = q_2 \cdot t \cdot n_m, \quad (26)$$

где  $n_m$  - количество гидромultiпликаторов в преобразователе сверхвысокого давления.

**Подача источника воды высокого давления первой ступени сжатия.** Расход жидкости источника воды высокого давления первой ступени сжатия определяют по формуле

$$Q = q_3 \cdot t \cdot n_m, \quad (27)$$

где  $q_3 = \frac{\pi \cdot D_n^2 \cdot L'}{4}$  - объемная постоянная поршневой камеры гидромultiпликатора второй ступени сжатия.

По давлению в поршневой полости гидромultiпликатора второй ступени сжатия  $P_1$  и расходу жидкости  $Q$  выбирается источник воды высокого давления (насос или преобразователь давления) первой ступени сжатия, например, из типоразмерного и параметрического рядов источников воды высокого давления на базе мультипликаторов табл. 2 [3].

**Таблица 2**

**Таблица выбора источника воды высокого давления**

| Насосный блок |                       |               | Преобразователь давления  |    |     |     |     |     |     |      |      |     |
|---------------|-----------------------|---------------|---------------------------|----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|-----|
| Типоразмер    | Мощность привода, кВт | Подача, л/мин | Исполнение                |    |     |     |     |     |     |      |      |     |
|               |                       |               | 1                         | 2  | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8    | 9    | 10  |
|               |                       |               | Давление номинальное, МПа |    |     |     |     |     |     |      |      |     |
|               |                       |               | 20                        | 65 | 95  | 120 | 150 | 180 | 260 | 300  | 350  | 400 |
|               |                       |               | Производительность, л/мин |    |     |     |     |     |     |      |      |     |
| 1             | 17                    | 43            | 40                        | 11 | 7,5 | 6   | -   | -   | -   | -    | -    | -   |
| 2             | 35                    | 85            | 75                        | 22 | 15  | 12  | 9,5 | 7,5 | 5   | -    | -    | -   |
| 3             | 50                    | 120           | 110                       | 31 | 22  | 17  | 13  | 11  | 7,5 | 6,59 | 5    | -   |
| 4             | 70                    | 170           | 150                       | 44 | 30  | 24  | 19  | 15  | 10  | 9    | 7    | 6   |
| 5             | 110                   | 265           | 230                       | 70 | 45  | 35  | 30  | 22  | 15  | 12   | 11,5 | 10  |
| 6             | 140                   | 340           | 300                       | 88 | 60  | 48  | 38  | 30  | 20  | 18   | 15   | 13  |
| 7             | 220                   | 528           | -                         | -  | 90  | 70  | 60  | 44  | 30  | 24   | 23   | 20  |

Таким образом, разработанная методика расчета параметров гидромultiпликатора второй ступени сжатия может служить базой для проектирования исполнительных органов проходческих комбайнов, оснащенных струями воды сверхвысокого давления.

### Список литературы

1. Жабин А.Б., Головин К.А., Поляков А.В. Разрушение горных по-

род импульсными высокоскоростными струями воды // Горное оборудование и электромеханика. 2006. № 4. С. 43 – 46.

2. Бреннер. В.А., Жабин А.Б., Пушкарев А.Е., Щеголевский М.М. Гидромеханическое разрушение горных пород. М.: Изд – во АГН, 2000. 343 с.

3. Качурин Н.М., Бреннер В.А., Жабин А.Б., Щеголевский М.М., Лавит И.Г. Расчет и проектирование гидромеханических исполнительных органов проходческих комбайнов. М.: Изд-во МГГУ, 2003. 293 с.

4. Лукиенко Л.В., Головин К.А., Наумов Ю.Н., Поляков А.В. Бесконтактные уплотнения высокого давления: докл. и тез. докл. VII научно-технич конф. ученых, аспирантов и студентов. изд-во РХТУ им. Д.И. Менделеева. Новомосковск, 2005. С. 18-19.

5. Поляков А.В. Бесконтактные щелевые уплотнения сверхвысокого давления с запирающей средой/ Материалы 4-ей межрегиональной научно-практической конференции: «Освоение минеральных ресурсов Севера: проблемы и решения». 12-14 апреля. Воркута-Сыктывкар-Ухта, 2006. С. 314 – 318.

6. Бреннер В.А., Жабин А.Б., Поляков А.В. Результаты исследований процесса разрушения горных пород струями воды сверхвысокого давления // Горное оборудование и электромеханика. 2006. № 6. С. 29 – 32.

7. Гидросистемы высоких давлений/ под. ред. Ю.Н. Лаптева. М.: Машиностроение, 1973. 151 с.

8. Жабин А.Б., Поляков А.В., Поляков А.В. К расчету параметров гидромультпликатора второй ступени сжатия источника воды сверхвысокого давления для гидромеханических исполнительных органов проходческих комбайнов// Материалы 4-ой межрегиональной научно - практической конференции: «Освоение минеральных ресурсов Севера: проблемы и решения». Воркута, 2007. С. 52 - 58.

*Жабин Александр Борисович, д-р техн. наук, проф., Россия, Тула, Тульский государственный университет,*

*Поляков Алексей Вячеславович, канд. техн. наук, Россия, Тула, Тульский государственный университет,*

*Поляков Андрей Вячеславович, канд. техн. наук, техн. директор ООО «Экспертный центр технологической безопасности»*

**METHOD OF CALCULATION OF PARAMETERS OF WATER SOURCES OF ULTRAHIGH PRESSURE OF EXECUTIVE BODIES OF ROADHEADERS**

*A.B. Zhabin, A.V. Poljakov, A.V. Poljakov*

*Presents a method for calculating the dimensions of the hydro multiplier, its construction and hydraulic items, as well as in the General parameters of source water ultrahigh pressure for hydromechanical Executive bodies of roadheaders.*

*Key words: hydro multiplier, ultra high pressure water, methods of calculating.*

*Zhabin Aleksandr Borisovich, doctor of technical sciences, professor, [sarychevy@mail.ru](mailto:sarychevy@mail.ru), Russia, Tula, Tula State University,*

*Poljakov Aleksej Vjacheslavovich, candidate of technical sciences, Russia, Tula, Tula State University,*

*Poljakov Anrej Vjacheslavovich, candidate of technical sciences, Russia, Tula, technical Director of LLC «Expert centre of technological safety»*

УДК 621.86.065

**ПОВЫШЕНИЕ СТОЙКОСТИ НЕСУЩИХ КАНАТОВ ПРИ  
ЭКСПЛУАТАЦИИ НА ПОДВЕСНЫХ КАНАТНЫХ ДОРОГАХ**

М.Н. Хальфин, Е.В. Сорокина

*На основе математической модели напряженно-деформированного состояния несущего каната рассмотрено влияние различных видов нагружения на его стойкость. Установлено, что основными видами напряжения возникающих в проволоках несущей каната являются растягивающие и изгибные. Показано, что при увеличении натяжения каната уменьшаются изгибные и увеличиваются растягивающие напряжения и, соответственно, повышается стойкость несущего каната. Это так же подтверждается статистической обработкой данных по эксплуатации 1172 несущих закрытых канатов грузовых подвесных канатных дорог увеличением стойкости на 57 %.*

*Ключевые слова: канатная дорога; несущий канат; запас прочности; напряжения.*

Канатные дороги представляют собой сложную многокомпонентную транспортную систему, безопасность которой является определяющим параметром, как при ее создании, так и эксплуатации.

Особенности выбора канатов при проектировании канатных дорог обусловлены «Правилами устройства и безопасной эксплуатации пассажирских подвесных и буксировочных канатных дорог» (ПБ 10-559-03).

Согласно п. 2.3.3 ПБ 10-559-03 при выборе канаты должны быть проверены расчетом на прочность при растяжении по формуле

$$F_0 \geq S \cdot z, \quad (1)$$

где  $F_0$  – разрывное усилие каната в целом;  $S$  – наибольшее натяжение каната;  $z$  – минимальный коэффициент запаса прочности.

Расчет по условию (1) сводится к формальному выбору каната. При этом не учитываются его напряженное состояние и долговечность, которые определяются в современных расчетах других ответственных и несущих конструкций канатной дороги. Кроме того, следует иметь в виду, что условие (1) имеет только нижнее ограничение и принятие возможно больших значений коэффициентов запаса прочности в определенных случаях может привести к негативным результатам.

Незнание истинного напряженного состояния проволок компенсируется большими значениями коэффициента запаса прочности

( $z = 2,5 \dots 5,0$ ), что на практике оборачивается увеличением массы оборудования канатных дорог. Как известно, несущие канаты канатных дорог подвергаются натяжению от растягивающей и изгибу от поперечной нагрузок, и контакту от прикосновения с ходовыми колесами вагонов с башмаками линейных опор. В связи с этим необходимо выяснить, какой из видов нагружения является превалирующим при влиянии на стойкость несущего каната.

Для оценки напряжений, возникающих в проволоках несущего каната закрытой конструкции в процессе эксплуатации на канатной дороге, воспользуемся уравнениями статики каната, имеющего одинаковые геометрические параметры и механические свойства винтовых элементов, расположенных в одном слое [1]:

$$\begin{cases} A_{11}\varepsilon + A_{12}\theta = P \\ A_{12}\varepsilon + A_{22} = M_x \end{cases}, \quad (2)$$

где  $\varepsilon$ ,  $\theta$  – соответственно относительные продольная и крутильная деформации каната;  $P$  – растягивающая нагрузка или натяжение несущего каната  $T$ ;  $M_x$  – крутящий момент;  $A_{11}$ ,  $A_{12}$ ,  $A_{22}$  – агрегатные коэффициенты жесткости каната одинарной свивки, обозначенные в работе [1] соответственно через  $A$ ,  $B$  и  $C$  и определяемые по формулам:

$$A_{11} = A = m \sum_{i=1}^n (EF \cos^2 \alpha + EJ \frac{\sin^4 \alpha \cos^3 \alpha}{r^2}), \quad (3)$$

$$\begin{aligned} A_{22} = B = m \sum_{i=1}^n (EFr^2 \cos \alpha \sin^2 \alpha + \\ + EJ(1 + \cos^2 \alpha)^2 \sin^2 \alpha \cos \alpha + GJ_p \cos^7 \alpha), \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} A_{12} = m \sum_{i=1}^n (EFr \sin \alpha \cos^2 \alpha - \\ - EJ(1 + \cos^2 \alpha) \frac{\cos^2 \alpha \sin^3 \alpha}{r} - GJ_p \frac{\cos^4 \alpha \sin^3 \alpha}{r}), \end{aligned} \quad (5)$$

где  $E$ ,  $G$  – соответственно модули упругости I и II рода;  $F$  – площадь поперечного сечения проволоки;  $J$ ,  $J_p$  – соответственно осевой и полярный моменты инерции;  $\alpha_i$ ,  $r_i$  – соответственно угол и радиус свивки слоя проволок;  $m$  – число проволок в одном слое;  $n$  – число слоев проволок.

Решая уравнения (2) относительно деформаций каната, получим

$$\left\{ \begin{aligned} \varepsilon &= \frac{M_x A_{12}}{A_{11} A_{22} - A_{12}^2} + \frac{P_x A_{22}}{A_{11} A_{22} - A_{12}^2} \\ \theta &= \frac{M_x A_{11}}{A_{11} A_{22} - A_{12}^2} - \frac{P_x A_{12}}{A_{11} A_{22} - A_{12}^2} \end{aligned} \right\}. \quad (6)$$

Напряжения растяжения, изгиба и кручения проволоки при действии на канат растягивающей нагрузки определяются выражениями:

$$\left\{ \begin{aligned} \sigma &= E \varepsilon_s \\ \sigma_u &= E \frac{\delta}{2} b \\ \tau_k &= G \frac{\delta}{2} t \end{aligned} \right\}, \quad (7)$$

где  $\varepsilon_s$ ,  $b$  и  $t$  – относительные деформации соответственно растяжения, изгиба и кручения проволоки, определяемые по формулам [1]:

$$\varepsilon_s = \varepsilon \cos^2 \alpha + \theta r \sin \alpha \cos \alpha,$$

$$t = \varepsilon \frac{\sin^3 \alpha \cos \alpha}{r} + \theta \cos^4 \alpha, \quad (8)$$

$$b = -\varepsilon \frac{\cos^2 \alpha \sin^2 \alpha}{r} + \theta (1 + \cos^2 \alpha) \sin \alpha \cos \alpha,$$

где  $\delta$  – диаметр круглой или высота фасонной проволоки.

С учетом (6) – (8) выражения напряжений растяжения, изгиба и кручения проволок закрытого каната можно представить:

$$\sigma_p = E \left[ \left( \frac{M_x A_{12}}{A_{11} A_{22} - A_{12}^2} + \frac{P_x A_{22}}{A_{11} A_{22} - A_{12}^2} \right) \cos^2 \alpha + \left( \frac{M_x A_{11}}{A_{11} A_{22} - A_{12}^2} - \frac{P_x A_{12}}{A_{11} A_{22} - A_{12}^2} \right) r \sin \alpha \cos \alpha \right], \quad (9)$$

$$\sigma_u = E \frac{\delta}{2} \left[ - \left( \frac{M_x A_{12}}{A_{11} A_{22} - A_{12}^2} + \frac{P_x A_{22}}{A_{11} A_{22} - A_{12}^2} \right) \frac{\cos^2 \alpha \sin^2 \alpha}{r} + \left( \frac{M_x A_{11}}{A_{11} A_{22} - A_{12}^2} - \frac{P_x A_{12}}{A_{11} A_{22} - A_{12}^2} \right) (1 + \cos^2 \alpha) \sin \alpha \cos \alpha \right], \quad (10)$$

$$\tau_k = G \frac{\delta}{2} \left[ \left( \frac{M_x A_{12}}{A_{11} A_{22} - A_{12}^2} + \frac{P_x A_{22}}{A_{11} A_{22} - A_{12}^2} \right) \frac{\sin^3 \alpha \cos \alpha}{r} + \right. \\ \left. + \left( \frac{M_x A_{11}}{A_{11} A_{22} - A_{12}^2} - \frac{P_x A_{12}}{A_{11} A_{22} - A_{12}^2} \right) \cos^4 \alpha \right], \quad (11)$$

Применительно к несущим канатам закрытой конструкции при их эксплуатации, при отсутствии линейных опор (силы сопротивления перемещению несущего каната относительно башмаков линейных опор отсутствуют), деформация кручения отсутствует. Следовательно, уравнения (2), (9) – (11) примут следующий вид:

$$\begin{cases} P = T = A_{11} \varepsilon \\ M_x = A_{11} \varepsilon \end{cases}, \quad (12)$$

$$\begin{cases} \varepsilon_s = \varepsilon \cos^2 \alpha \\ t = \varepsilon \frac{\sin^3 \alpha \cos \alpha}{r} \\ b = -\varepsilon \frac{\cos^2 \alpha \sin^2 \alpha}{r} \end{cases}, \quad (13)$$

$$\sigma_p = E \cos^2 \alpha \frac{T}{A_{11}}, \quad (14)$$

$$\sigma_u = E \frac{\delta \cos^2 \alpha \sin^2 \alpha}{2} \frac{T}{r A_{11}}, \quad (15)$$

$$\tau_k = G \frac{\delta \sin^3 \alpha \cos \alpha}{2} \frac{T}{r A_{11}}. \quad (16)$$

Величины напряжения изгиба и кручения по отношению к напряжению растяжения составят:

$$\frac{\sigma_u}{\sigma_p} = \frac{\delta \sin^2 \alpha}{2} \frac{1}{r}, \quad (17)$$

$$\frac{\tau_k}{\sigma_p} = \frac{G}{E} \frac{\delta \sin^3 \alpha \cos \alpha}{2} \frac{1}{r}. \quad (18)$$

Учитывая, что

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)},$$

где  $\mu$  – коэффициент Пуассона,  $\mu = 0,3$ , выражение (17) примет вид

$$\frac{\tau_k}{\sigma_p} = \frac{\delta \sin^3 \alpha \cos \alpha}{r \cdot 4(1+\mu)}.$$

При значениях  $\alpha = 12^\circ \div 18^\circ$

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_u = (0,021 \div 0,048) \frac{\delta}{r} \sigma_p \\ \tau_k = (0,002 \div 0,006) \frac{\delta}{r} \sigma_p \end{array} \right\}. \quad (19)$$

Как видно из анализа выражения (19), величинами напряжения изгиба и кручения в проволоках несущего каната, в сравнении с растягивающими, можно пренебречь вследствие их незначительности

Для определения максимальных напряжений, возникающих в проволоках несущего каната, имеющего волнистость, воспользуемся формулами, полученными нами ранее [2].

Напряжения изгиба:

$$\sigma_{u\_max} = E \frac{\delta}{2} \cos \alpha \cos \gamma \frac{1}{\rho}. \quad (20)$$

Напряжения кручения:

$$\tau_k = G \frac{\delta}{2} \sin(\gamma + \alpha) \frac{1}{\rho}. \quad (21)$$

Отношение величины напряжения кручения к изгибным составит:

$$\frac{\tau_k}{\sigma_u} = \frac{\sin(\alpha + \gamma)}{\cos \alpha \cos \gamma 2(1+\mu)} = (tg \alpha + tg \gamma) \frac{1}{2(1+\mu)}.$$

При  $\alpha = 12^\circ \div 18^\circ$  и  $\gamma \leq 2^\circ$

$$\frac{\tau_k}{\sigma_u} = (0,088 - 0,125). \quad (22)$$

Из анализа выражения (22) видно, что напряжения кручения, возникающие в проволоках изогнутого несущего каната, в сравнении с изгибающими незначительны, ими можно пренебречь. Учитывая, что желоб ходовых колес вагонов, как правило, армирован пластическими материалами (капрон, полипропилен, резина), величина контактных напряжений, как показано в работе [2], незначительна, и ими можно пренебречь.

Таким образом, напряжения изгиба и растяжения возникающие в проволоках каната, являются основными, влияющими на его циклическую долговечность.

Согласно [3], кривизна оси изогнутого несущего каната определяется по формуле

$$\frac{1}{\rho} = \frac{R_n}{T} \frac{2}{\delta} \sqrt{\frac{\sigma_p}{E}}, \quad (23)$$

где  $R_n$  – нагрузка от веса груженого вагона, приходящаяся на одно колесо;  
 $T$  – натяжение несущего каната;  $\sigma_p$  – растягивающее напряжение.

Подставляя выражение (23) в (20) и учитывая, что

$$\sigma_p = \sigma_B / z,$$

где  $z$  – коэффициент запаса прочности несущего каната;  $\sigma_B$  – предел прочности материала канатной проволоки, получим:

$$\sigma_u = \frac{R_n}{F} \sqrt{\frac{Ez}{\sigma_B}} \cos \alpha \cos \gamma. \quad (24)$$

Максимальное суммарное напряжение в проволоках несущего каната составит:

$$\sigma_c = \sigma_p + \sigma_u \text{ или } \frac{\sigma_c}{\sigma_p} = \left(1 + \frac{\sigma_u}{\sigma_p}\right) = \left(1 + \frac{\sigma_u z p}{\sigma_B}\right). \quad (25)$$

Как видно из выражений (24) и (25), при уменьшении коэффициента запаса прочности увеличивается натяжение каната и уменьшается величина напряжения изгиба. Соответственно, увеличивается циклическая прочность каната, которая обратно пропорциональная величине выражения

$$\frac{\sigma_u z}{\sigma_B}.$$

Эксперименты, приведенные в [3], показали, что увеличение натяжения каната приводит к существенному повышению усталостной прочности проволок канатов закрытой конструкции.

На основании статистической обработки данных по эксплуатации 1172 несущих закрытых канатов подвесных канатных дорог было установлено, что с уменьшением натяжения несущего каната от 0,375 до 0,167 от разрывного усилия (или с увеличением коэффициента запаса прочности с 2,8 до 6,0 стойкость уменьшилась на 31 % [4].

Повышение поперечной нагрузки от 1400 до 7500 Н способствовало увеличению изгибных напряжений и, соответственно, снижению стойкости несущих канатов на 90 %.

На основании вышеизложенного считаем целесообразным уменьшение коэффициента запаса прочности и поперечной нагрузки. Аналогичные выводы справедливы при определении нагруженности тяговых и несущих-тяговых канатов, эксплуатирующихся на канатных дорогах.

### Список литературы

1. Глушко М.Ф. Стальные подъемные канаты. Киев, 1966. 327 с.
2. Хальфин М.Н., Сорокина К.П., Иванов Б.Ф. Кручение и волни-

стость несущих канатов подвесных канатных дорог. Новочеркасск: Юж.-Рос. гос. техн. ун-т, 2004. 117 с.

3. Дукельский А.И. Подвесные канатные дороги и кабельные краны. Л., 1966. 482 с.

4. Хальфин М.Н., Мамаев Ю.Д., Иванов Б.Ф. Несущие закрытые канаты грузовых подвесных канатных дорог. Новочеркасск, 1998. 128 с.

*Хальфин Марат Нурмухамедович, д-р техн. наук, проф., [Xalfin@km.ru](mailto:Xalfin@km.ru), Россия, Новочеркасск, Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт),*

*Сорокина Елена Владимировна, канд. техн. наук, доц., Россия, Новочеркасск, Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт)*

#### TO THE QUESTION OF INCREASE OF FIRMNESS OF BEARING ROPES AT OPERATION ON SUSPENDED ROPEWAYS

M.N. Halfin, E.V. Sorokina

*On the basis of mathematical model it is intense - the deformed condition of a bearing rope influence of different types of loading on its firmness is considered. It is established that main types of tension arising in the wires a bearing rope are stretching and flexural. It is shown that at increase in a tension of a rope decrease flexural and the stretching tension increases and, respectively, firmness of a bearing rope increases. It as is confirmed by statistical data processing on operation of 1172 bearing closed ropes of cargo suspended ropeways by increase in firmness for 57 %.*

*Key words: a ropeway; a bearing rope; margin of safety; tension.*

*Halfin Marat Nurmuhamedovich, doctor of technical sciences, professor, [Xalfin@km.ru](mailto:Xalfin@km.ru), Russia, Novocherkassk, South-Russia State Technical University (Novocherkassk Polytechnic Institute),*

*Sorokina Elena Vladimirovna, candidate of technical sciences, docent, Russia, Novocherkassk, South-Russia State Technical University (Novocherkassk Polytechnic Institute)*

## СОДЕРЖАНИЕ

### **НЕТРАДИЦИОННЫЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ**

|                                                                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Алехин В.А.</i><br>Области применения солнечной энергетики .....                                                            | 3  |
| <i>Алехина Е.В.</i><br>Основные аспекты ветроэнергетики .....                                                                  | 8  |
| <i>Алехина Е.В.</i><br>Перспективы ветроэнергетики .....                                                                       | 13 |
| <i>Алехин В.А.</i><br>Солнечная энергия и диоды Шоттки .....                                                                   | 18 |
| <i>Нго Сян Кыонг</i><br>Метод расчета рационального шага позиционирования<br>электрохимической системы солнечных батарей ..... | 22 |

### **ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И НАДЕЖНОСТЬ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

|                                                                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Степанов В.М., Базыль И.М.</i><br>Влияние высших гармоник в системах электроснабжения<br>предприятия на потери электрической энергии .....               | 27 |
| <i>Горелов Ю.И., Алипов Д.В.</i><br>Об эффективности управления системой охлаждения мощных<br>силовых трансформаторов .....                                 | 32 |
| <i>Ядыкин Е.А., Базыль И.М.</i><br>Определение работоспособности устройств электротехнического<br>комплекса для снижения потерь электрической энергии ..... | 37 |
| <i>Горелов Ю.И.</i><br>О регулярности и полноте задач распознавания с равномошными<br>классами .....                                                        | 43 |
| <i>Ершов С.В., Дмитриев А.М.</i><br>Применение диагностических комплексов систем электроснабжения<br>для улучшения показателей их работы .....              | 53 |

|                                                                                                                                                                                                                   |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Ершов С.В., Жабин Б.А.</i><br>Анализ влияния провалов напряжения на показатели работы<br>систем электроснабжения .....                                                                                         | 62  |
| <i>Ершов С.В., Сергеева Т.Е.</i><br>Построение логарифмических характеристик интеллектуально –<br>адаптивных систем автоматического контроля микроклимата .....                                                   | 73  |
| <i>Ершов С.В., Сергеева Т.Е.</i><br>Исследование интеллектуально – адаптивной системы<br>автоматического контроля микроклимата .....                                                                              | 82  |
| <i>Ершов С.В., Сергеева Т.Е.</i><br>Математическое моделирование параметров помещений<br>в интеллектуально – адаптивных системах автоматического<br>контроля микроклимата .....                                   | 88  |
| <i>Степанов В.М., Казаков А.О.</i><br>Многоканальная схема защиты от короткого замыкания в нагрузке<br>на базе реле напряжения .....                                                                              | 95  |
| <i>Степанов В.М., Каратеев П.Ю.</i><br>Определение работоспособности электротехнических устройств,<br>обеспечивающих эффективное использование и распределение<br>электроэнергии в электропитающих системах ..... | 99  |
| <i>Каратеев П.Ю.</i><br>Оценка эффективности использования и распределения<br>электрической энергии в системе электроснабжения<br>промышленного предприятия .....                                                 | 103 |
| <i>Степанов В.М., Косырихин В.С., Каратеев П.Ю., Базыль И.М.</i><br>Контроль и управление качеством электрической энергии систем<br>электроснабжения предприятий .....                                            | 106 |
| <i>Устинов А.С.</i><br>Проектирование электрических сетей до 10 кВ .....                                                                                                                                          | 110 |
| <i>Шабаль Н.С.</i><br>Сценарии развития электроэнергетики России на примере<br>ОЭС Центра .....                                                                                                                   | 113 |

## **УПРАВЛЕНИЕ И НАДЕЖНОСТЬ РАБОТЫ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА**

*Ядыкин Е.А., Веселов П.В.*

Моделирование переходных процессов в системе  
«электродвигательный агрегат – рулевое управление»  
автотранспортных средств ..... 122

*Степанов В.М., Котеленко С.В.*

Планирование эксперимента, методика и аппаратура исследования  
электротехнической системы рекуперации электрической энергии ..... 128

*Свиштунов В.А.*

Автоматизация насосной станции с применением частотно-  
регулируемого электропривода ..... 135

*Шпрехер Д.М., Бабокин Г.И.*

Оценка работоспособности электромеханических систем с помощью  
интегрального показателя качества функционирования ..... 140

*Шпрехер Д.М.*

Метод повышения достоверности и контроля работоспособности  
электромеханических систем ..... 148

*Бабокин Г.И., Шпрехер Д.М.*

Обоснование параметров контроля работоспособности  
электромеханических систем подземных горных машин ..... 156

*Шурлепов М.А.*

Прямое управление моментом электропривода в механизме  
подъема козлового крана ..... 163

## **ДИАГНОСТИРОВАНИЕ И НАДЕЖНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

*Борисов П.А.*

Модель электротехнического комплекса диагностики технического  
состояния силовых кабельных линий ..... 171

*Борисов П.А.*

Водные триинги и принцип определения участков кабельной линии  
содержащих водные триинги при трассировке кабельных линий ..... 176

|                                                                                                                                           |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Меркулов Н.М.</i><br>Параметрический анализ систем выброса и определение основных параметров импульсного кассетного огнетушителя ..... | 183 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                                                                                                                                                    |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Меркулов Н.М.</i><br>Оценка влияния отклонений основных параметров пиротехнического состава и элементов конструкции на внутрибаллистические параметры импульсного кассетного огнетушителя ..... | 186 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                                                           |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Меркулов Н.М.</i><br>Разработка конструкции опытных образцов импульсного кассетного огнетушителя ..... | 192 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

### **ПОДГОТОВКА И ПЕРЕПОДГОТОВКА ИНЖЕНЕРНЫХ И НАУЧНЫХ КАДРОВ**

|                                                                                                                         |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Горелов Ю.И.</i><br>Объяснительно-иллюстративный и репродуктивные методы обучения электротехнических дисциплин ..... | 197 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                                                                                             |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Горелов Ю.И.</i><br>Методика преподавания электроэнергетических дисциплин с использованием программ схмотехнического моделирования ..... | 199 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                                                             |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Степанов В.М.</i><br>Структура образовательного процесса по энергосбережению и энергоэффективности ..... | 201 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                                                                     |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Степанов В.М.</i><br>О формировании региональной модели обучения по энергосбережению и энергоэффективности ..... | 205 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                                                                                                                                                   |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Ершов С.В., Сергеева Т.Е.</i><br>Особенности организации и проведения научно-исследовательской практики магистров на кафедре «Электроэнергетика» Тульского государственного университета ..... | 212 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                                                                                                                          |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Ершов С.В., Сергеева Т.Е.</i><br>Методика проведения производственной практики студентов на кафедре «Электроэнергетика» Тульского государственного университета ..... | 217 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                                                                                                                                                          |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Степанов В.М., Еришов С.В., Сергеева Т.Е.</i><br>Применение компьютерных средств обучения при подготовке<br>студентов на кафедре «Электроэнергетика» Тульского<br>государственного университета ..... | 223 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                                                                                                                                       |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Степанов В.М., Еришов С.В., Сергеева Т.Е.</i><br>Оценка уровня подготовки студентов по специальности<br>140211 «Электроснабжение» Тульского государственного<br>университета ..... | 229 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                                                                                                                                                                      |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Степанов В.М., Еришов С.В., Сергеева Т.Е.</i><br>Влияние производственной практики на уровень подготовки<br>студентов по специальности 140211 «Электроснабжение» Тульского<br>государственного университета ..... | 234 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                                                                                                                                   |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Степанов В.М., Еришов С.В., Сергеева Т.Е.</i><br>Организация практики студентов по специальности<br>140211 «Электроснабжение» тульского государственного<br>Университета ..... | 241 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                                                                  |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Кравцов Ю.В.</i><br>Совершенствование тестового контроля знаний студентов<br>по техническим дисциплинам ..... | 245 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

## **УПРАВЛЕНИЕ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

|                                                                                                    |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Аршакян А.А., Луцков Ю.И., Новиков А.С.</i><br>Многокадровая фильтрация импульсной помехи ..... | 248 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                                                            |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Аршакян А.А., Будков С.А., Думчев С.В., Луцков Ю.И.</i><br>Наблюдение объектов в дисперсной среде ..... | 256 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

## **ГОРНОЕ ДЕЛО**

|                                                                                                                                                                                                                                                    |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Копылов А.Б., Савин И.И., Соколов Э.М., Харламов А.Е.</i><br>Обоснование технико-технологических параметров по управлению<br>состоянием подготовительных и очистных выработок на основе<br>комплексной оценки горно-геологических условий ..... | 264 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                                                                                                                                            |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Булычев Н.С., Копылов С.И., Копылов А.Б., Лавит И.М.</i><br>Расчет напряженно-деформированного состояния многослойной<br>обделки коллекторных тоннелей по результатам мониторинга ..... | 272 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                                                                                                                                                       |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Копылов А.Б., Соколов Э.М., Харламов А.Е.</i><br>Разработка технологических решений эффективного освоения<br>угольных месторождений, с учетом ухудшающихся<br>горно-геологических параметров ..... | 282 |
| <i>Ковалев Р.А., Кононенко И.В.</i><br>Оценка отдельных параметров влияющих на подземную и наземную<br>газификацию твердых топлив .....                                                               | 286 |
| <i>Подколзин А.А., Сафронов В.П.</i><br>Оптимизация динамических характеристик гидросети<br>механизированной крепи .....                                                                              | 294 |
| <i>Панин А.Н., Сарычев В.И., Прохоров Н.И., Савин И.И.</i><br>Обоснование параметров совмещенной схемы прокладки труб<br>при бестраншейной технологии .....                                           | 298 |
| <i>Сарычев В.И., Панин А.Н., Прохоров Н.И.</i><br>Технология упрочнения грунтового основания способом<br>горизонтального прокола и анализ его напряженного состояния .....                            | 306 |
| <i>Сарычев В.И., Захаров Е.И., Жуков С.С.</i><br>Обоснование применения комбинированной закладки<br>при традиционных схемах очистной выемки<br>комплексно-механизированными забоями .....             | 311 |
| <i>Жабин А.Б., Поляков А.В., Поляков А.В.</i><br>Теоретические исследования процесса формирования импульсной<br>струи воды в модуляторе гидроимпульсного инструмента .....                            | 316 |
| <i>Жабин А.Б., Поляков А.В., Поляков А.В.</i><br>Методика расчета параметров источников воды сверхвысокого<br>давления для исполнительных органов проходческих комбайнов .....                        | 326 |

## **МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ**

|                                                                                                                                   |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Хальфин М.Н., Сорокина Е.В.</i><br>Повышение стойкости несущих канатов при эксплуатации<br>на подвесных канатных дорогах ..... | 337 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

Научное издание

**ИЗВЕСТИЯ  
ТУЛЬСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА**

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

**Выпуск 12**

**Часть 2**

Изд. лиц. ЛР № 020300 от 12.02.97. Подписано в печать 27.12.13

Формат бумаги 70×100 1/16. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 20,3. Уч.-изд. л. 17,5.

Тираж 500 экз. Заказ

Тульский государственный университет  
300012, г. Тула, просп. Ленина, 92.

Отпечатано в Издательстве ТулГУ  
300012, г. Тула, просп. Ленина, 95