

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ  
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**БЕЛОРУССКИЙ РЕСПУБЛИКАНСКИЙ ФОНД  
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**



**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

# **ПЕРСПЕКТИВЫ И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ АПК**

**МАТЕРИАЛЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ  
КОНФЕРЕНЦИИ,**

**ПОСВЯЩЕННОЙ 50-ЛЕТИЮ  
АГРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА  
БГАТУ**

**22-23 ноября 2007 г.  
г. Минск**

Минск  
2007

УДК 631.371:620.9

ББК 31

П 27

Редакционная коллегия: М. А. Прищепов, д.т.н., доцент; И.В. Протосовицкий, к.т.н., доцент; В.И. Русан, д.т.н., профессор; Н.Е. Шевчик, к.т.н., доцент; В.А. Пашинский, к.т.н., доцент; В.А. Дайнеко, к.т.н., доцент; Ю.А. Сидоренко, к.т.н., доцент.

**П 27      Перспективы и направления развития энергетики АПК:**  
материалы международной научно-технической конференции (Минск, 22-23 ноября 2007 г.) / М.А. Прищепов [и др.]; под ред. М.А. Прищепова —  
Мн.: БГАТУ, 2007. — 392 с.

ISBN 985-6770-23-8

В сборнике обобщены материалы конференции, посвященной рассмотрению перспектив и направлений развития энергетики, энергообеспечению, нетрадиционным и возобновляемым источникам энергии, применению электротехнологии и электрооборудования, а также автоматизации технологических процессов в АПК. В докладах отражены теоретические и практические достижения ученых Беларуси, России, Украины, США, Германии, Словении, дается анализ состояния энергетики АПК и представлены перспективы ее развития.

Материалы будут полезны и интересны для научных сотрудников занимающихся энергетикой АПК, студентов и других специалистов.

**Ответственность за достоверность публикуемых материалов  
несут их авторы.**

**УДК 631.371:620.9  
ББК 31**

© УО «БГАТУ», 2007

## ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

### Вступительное слово

**ректора УО «БГАТУ» члена-корреспондента НАН Беларуси**

**Казаровца Н.В. на пленарном заседании международной научно-технической конференции «Перспективы и направления развития энергетики АПК», посвященной 50-летию Агроэнергетического факультета**

Уважаемые участники и гости международной научно-технической конференции «Перспективы и направления развития энергетики АПК»!

От имени оргкомитета конференции и ректората УО «БГАТУ» сердечно приветствую Вас с началом работы международной научно-технической конференции. Мне особенно приятно отметить участие в конференции известных ученых агроэнергетиков нашей страны, России, Украины, США, Германии и Словакии.

В работе конференции принимает участие около 100 специалистов, представляющих свыше 30 различных министерств и ведомств, учебных и научно-исследовательских организаций и др.

Это говорит о том, что к конференции проявлен большой интерес и тематика ее представляется весьма актуальной.

Конференция посвящена 50-летию Агроэнергетического факультета. Агроэнергетический факультет – единственный в республике, обеспечивающий подготовку квалифицированных кадров в сфере энергетики АПК.

На факультете ведется подготовка специалистов по двум специальностям: «энергетическое обеспечение сельского хозяйства (электроэнергетика и теплоэнергетика)», «Автоматизация технологических процессов и производств (сельское хозяйство)».

За время существования факультета было подготовлено более 10 тысяч инженеров-электриков, которые трудятся не только в нашей республике, но и в странах ближнего и дальнего зарубежья. Многие из них работают в БГАТУ педагогами и занимают руководящие должности: проректоров, деканов, заведующих

кафедр. Как правило, руководителями в ВУЗе становятся те ученые, кто в свое время отличную учебу умело сочетали с общественной работой.

В настоящее время на факультете обучается более 1000 студентов, работают 116 высококвалифицированных преподавателей, в том числе 8 докторов и 46 кандидатов наук.

Обучение осуществляется на бюджетной и коммерческой основе по дневной и заочной формам, а также по непрерывной интегрированной системе профессионального образования (выпускники техникумов и колледжей).

На факультете налажены тесные интеграционные связи учебного процесса с производством, а именно, со специализированными эксплуатационными, монтажными и ремонтными предприятиями и хозяйствами, где студенты проходят производственную практику, совершенствуя свое профессиональное мастерство. Отдельные кафедры имеют свои филиалы на производственных предприятиях и в научно-исследовательских институтах. Некоторые студенты факультета проходят также стажировку за рубежом: в Германии, Голландии, Великобритании.

Большое внимание уделяется практической подготовке студентов. В структуре факультета на базе кафедры ППС в п. Боровляны имеется энергетический полигон, на котором осуществляется практическая подготовка специалистов, научные исследования и производственные испытания разрабатываемых установок.

Высокий уровень теоретической и практической подготовки молодых специалистов в сочетании с широтой практических навыков и умений, их способностью и готовностью к специализации в более узких областях гарантируют конкурентоспособность выпускников агроэнергетического факультета на рынке труда.

На факультете также ведется подготовка кадров высшей квалификации через аспирантуру. В соответствии с приказом ВАК Республики Беларусь от 25.05.2006г. № 100-с утвержден новый состав Совета по защите диссертаций Д.05.31.01, которому разрешено проводить защиты диссертаций на соискание ученой степени доктора (кандидата) наук по специальностям:

05.20.02 – электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве (технические науки);

05.13.06. – автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (сельское хозяйство, технические науки).

В перспективе перед коллективом АЭФ стоят более сложные и ответственные задачи. Это обусловлено тем, что в АПК республики в последние годы сложилась сложная энергетическая ситуация: неудовлетворительное энергетическое обеспечение и дефицит специалистов-энергетиков, крайне обострилась проблема технического сервиса энергетического оборудования и систем энергоснабжения, не ведется подготовка научных кадров и специалистов по энергосбережению, не проводится должная работа по повышению квалификации специалистов-энергетиков и т.п.

В соответствии с директивой Президента страны Лукашенко А.Г. №3 от 14 июня 2007 г. «Экономия и бережливость – главные факторы экономической безопасности государства» перед энергетиками стоят серьезные задачи – обеспечения энергетической безопасности, повышение уровня и качества энергообеспечения АПК, внедрение новых экологически чистых технологий, решение которых позволит ускорить научно-технический прогресс и повысить эффективность производства, рост производительности общественного труда и благосостояния трудящихся.

Мировой опыт показывает, что наиболее эффективно возникшие проблемы можно решить в комплексе на основе интеграции обучения, науки и практики.

В связи с этим в настоящее время решается вопрос о создании в структуре БГАТУ на базе кафедры ППС учебно-научно-практического центра энергетики АПК, что позволит наиболее оперативно и эффективно решать проблемы энергетики АПК.

Уважаемые участники конференции!

Согласно плану работы на конференции предполагается заслушать свыше 100 докладов с рассмотрением широкого круга вопросов для решения энергетических проблем АПК.

Выражаем надежду, что Вы сможете выработать научные рекомендации и принять резолюцию конференции по повышению эффективности энергообеспечения АПК

Желаю всем участникам конференции успешной и плодотворной работы.

## НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АПК

Русан В.И.,

УО Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск

Как показывает мировой опыт, надежное, безопасное и эффективное энергообеспечение является фундаментом и определяющим фактором развития экономики любого государства и повышения уровня жизни народа. На июльском (2006 г.) саммите «группы восьми» (G 8) в г. С.- Петербурге принят важный документ - «Глобальная энергетическая безопасность (3э – энергетика, экономика, экология)», имеющий историческое значение. И это аксиома, так как энергетика, экономика, экология – три кита устойчивого развития любого государства вне зависимости от его политического устройства.

Основные положения этого международного документа:

- альтернативная, экологически чистая низкоуглеродная энергетика;
- возобновляемые источники энергии;
- инновационные энергетические технологии;
- повышение энергоэффективности и энергосбережения.

Эти проблемы на современном этапе очень актуальны и для нашей страны.

На третьем всебелорусском народном собрании (2006 г.) в докладе Президента страны А.Г. Лукашенко отмечалось, что «стратегическое значение для нашей экономики имеют энергосбережение и энергоэффективность». А в директиве №3 Президента страны А.Г. Лукашенко от 14 июня 2007 г. поставлена задача «обеспечить энергетическую безопасность и энергетическую независимость страны».

А это значит, что энергетика и энергетическая безопасность в настоящее время являются приоритетными направлениями в обеспечении экономической независимости Беларуси.

Энергетика является также основой экономики и важнейшей приоритетной составляющей развития АПК, обеспечивающего продовольственную безопасность нашей страны. Однако энергетика АПК в настоящее время находится в кризисном состоянии.

Особенно неудовлетворительное положение сложилось в энергетическом обеспечении сельскохозяйственного производства. Это проявляется в виде дефицита ТЭР и постоянном росте их стоимости, низкой энерговооруженности и высокой энергоемкости производства, недостаточной обеспеченностью кадрами и надежностью энергообеспечения потребителей, а также и высоким удельным весом энергоресурсов в стоимости продукции. В результате чего сельскохозяйственная продукция становится неконкурентноспособной на мировом рынке.

В будущем проблема энергообеспечения приобретет еще большую остроту, потому что необходимо значительно увеличить энергоэффективность экономики, существенно увеличить энергопотребление, при этом с опережающим темпом – электроэнергии. Особенно возрастает роль и значимость эффективно-го энергообеспечения в реализации Государственной программы возрождения и развития села на 2005-2010 гг. Основными целями данной программы являются возрождение и развитие социальной и производственной сфер белорусского села, создание условий для устойчивого ведения аграрной экономики и повышение благосостояния сельского населения, престижность сельского уклада жизни и обеспечение продовольственной безопасности страны. При этом следует отметить, что продовольственная безопасность страны это прежде всего ее энергетическая безопасность.

С учетом изложенного основные направления научно-технического обеспечения энергетической безопасности АПК должны базироваться на разработке и реализации комплекса мероприятий, основными из которых являются:

- разработка концепции развития энергообеспечения и энергосбережения в АПК в современных условиях и на период до 2015 года;

- комплексный системный подход в обеспечении энергетической безопасности АПК;
- научное и кадровое обеспечение развития энергетики АПК;
- модернизация, технологическое и техническое переоснащение энергетической системы АПК на основе последних достижений научно-технического прогресса;
- использование потенциала энерго- и ресурсосбережения, включая повышение энергетической эффективности технологий и оборудования во всех отраслях АПК;
- организационно экономический механизм, стимулирующий максимальное внедрение энергоэффективных технологий и оборудования во всех отраслях АПК;
- разработка и реализация отраслевых и региональных программ энергосбережения и экономного использования ТЭР;
- максимальное вовлечение в топливный баланс экономически обоснованных объемов местных видов топлива, возобновляемых нетрадиционных источников энергии;
- снижение энергоемкости сельскохозяйственного производства и повышение конкурентноспособности продукции;
- информационно-коммуникационные системы и технологии в энергетическом обеспечении АПК;
- возрождение и развитие энергетической службы в АПК с современной производственной базой и организация эксплуатации энергооборудования в соответствии с требованиями Государственного энергетического надзора Республики Беларусь;
- развитие энергетического сервиса в АПК;
- создание демонстрационных зон высокой энергетической эффективности;

- повышение надежности и эффективности энергоснабжения потребителей АПК, а также гармонизация топливно-энергетического баланса с окружающей средой.

За последние годы в бывшем Институте энергетики АПК НАН Беларуси выполнен ряд разработок, которые уже внедряются или могут быть внедрены в АПК.

Основными из них являются:

1. Организационно-технические разработки (мероприятия, программы по энергосбережению и др.).
2. Нормативно-технические разработки (каталоги, рекомендации, инструкции, нормы расхода энергоресурсов и т.п.).
3. Средства автоматизации энергетических и технологических процессов.
4. Типоразмерный ряд теплогенераторов на местных видах топлива, энергосберегающих насосов и др.

Выполнены также разработки инфракрасных теплоизлучателей на генераторных газах, низкооборотного магнитодинамического генератора переменного тока; технология и оборудование для получения высокоэффективного гранулированного топлива из растительной биомассы и отходов сельхозпредприятий, лесной и деревообрабатывающей промышленности; универсальных горелочных устройств для сжигания различных видов топлива; нового поколения технологического оборудования и средств автоматизации систем микроклимата; высокоэффективных теплогенераторов на местных видах топлива для воздушного отопления помещений и сушки сельхозпродукции; холодильного оборудования с использованием естественного и искусственного холода; систем автоматизации управления энергетическим оборудованием на сельскохозяйственных объектах; систем комбинированного использования и аккумулирования возобновляемых источников энергии и др. В докладе приводятся описания и технические характеристики выполненных разработок.

В рамках ГНТП «Водородная энергетика» разработаны научные основы интегрированной автономной системы энергоснабжения сельскохозяйственных потребителей с использованием водородной энергетике.

В результате выполненных исследований разработана экспериментальная интегрированная система автономного энергообеспечения, состоящая из ВЭУ мощностью 2 кВт, ФЭС мощностью 0,4 кВт, электролизера производительностью 360 л/час, металлгидридных модулей аккумуляторов, электрохимического генератора и блока управления.

Проведенные в 2005-2006гг. исследования работы ВГЭУ в условиях эксплуатации показали, что она способна обеспечить электроэнергией автономно-го потребителя, например, дом усадебного типа со среднегодовым потреблением около 2500кВт·ч.

Для использования ветро-солнечных энергоустановок необходимо оптимизировать совместную работу первичных энергоисточников с электролизером и аккумулятором водорода с водородной энергоустановкой (электрохимическим генератором) и электрохимической нагрузкой и т.д. С этой целью целесообразно применение низкооборотных генераторов с возбуждением от постоянных магнитов. Это позволяет создавать безредукторные энергоустановки с высокими показателями эффективности и надежности. Нами разработан электрогенератор для комплектования микроГЭС мощностью 15 кВт. Причем для производства агрегата решено применять широкодоступные магниты, производимые в республике. В настоящее время изготовлен опытный образец такого генератора. При использовании его в микроГЭС, ее надежность повысится в 1,4-1,5 раза, а КПД увеличится на 10-15%.

В современных условиях особое внимание необходимо уделить развитию малой энергетики, разработке научных основ создания и эффективного использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и местных энергоресурсов, вторичных и новых видов ТЭР в сельскохозяйственном производстве и быту сельского населения. Основные из них – это гелиоустановки для нагрева воды и

воздуха; ветроэнергетические и фотоэлектрические устройства; гидроэлектростанции; биогазовые агрегаты, работающие на отходах животноводства и др.

Энергия ВИЭ – солнечная, ветровая, геотермальная, гидроэнергия и биомасса – в различных странах приобретает все большую ценовую конкурентноспособность по отношению к традиционным видам топлива, а целый ряд различных способов их использования рентабелен уже сегодня.

Чрезвычайно важной является и возникшая в последнее время проблема энергообеспечения агрогородков, которая имеет особенное значение в связи с тем, что поставлена задача разработки и внедрения социальных стандартов по обеспечению сельского населения электроэнергией и газом, призванных создать равные условия в социальной сфере сельского и городского населения. Согласно Госпрограмме возрождения и развития села на 2005-2010 гг. необходимо обеспечить реконструкцию и строительство 15 тыс. км электрических сетей сельскохозяйственного назначения, т.е. линий электропередачи 10-0,4 кВ. Здесь необходимо решить вопросы электроснабжения, наружного и внутреннего освещения, теплофикации, создания комфортных условий сельских жителей и др. Состояние сельских электрических сетей не всегда удовлетворительное, ведь большей частью они строились в годы сплошной электрификации – около 40 лет назад. Существует и проблема морального старения сетей, поскольку с появлением более комфортабельного жилья и, соответственно, ростом электрических нагрузок в агрогородках требуются сети с повышенной пропускной способностью, с изолированными проводами, которые позволяют повысить надежность электроснабжения потребителей. Кроме того, в связи с ростом энергопотребления необходимо обеспечить разукрупнение сетей, которое позволит снизить потери и увеличить их пропускную способность.

В связи с тем, что не во всех агрогородках может быть обеспечена возможность централизованного газоснабжения, необходимо решить вопросы горячего водоприготовления на селе.

Есть два варианта решения этой проблемы – это использование проточных и накопительных водонагревателей. Для использования проточных водонагревателей в сельской местности потребуется провести реконструкцию электрических сетей, замену электропроводок внутри зданий и организовать отдельный учет электроэнергии на нагрев.

Для решения комплекс проблем энергообеспечения и энергосбережения в агрогородках необходимо начать подготовку и повышение квалификации в БГАТУ специалистов по специальности «Энергетика коммунального хозяйства», которая в настоящее время не проводится.

В решении изложенных проблем особая роль принадлежит организации энергетического сервиса и кадровому обеспечению развития энергетики АПК. Кроме технического состояния, надежность и эффективность энергообеспечения в значительной степени определяется человеческим фактором. К сожалению, в настоящее время острой проблемой стал дефицит достаточного количества и качества опытного и квалифицированного персонала (обеспеченность около 35%), что отрицательно влияет на качество и уровень организации надежной и безопасной эксплуатации энергоустановок.

Для восполнения этого пробела необходимо организовать в БГАТУ подготовку и повышение квалификации специалистов по энергетическому сервису, а также менеджменту и маркетингу в энергетике АПК.

Реализация изложенных направлений научно-технического обеспечения энергетической безопасности АПК и их широкое внедрение в производство будут способствовать энергетической независимости, преодолению энергетического кризиса и возрождению белорусского села, что обеспечит решение важной проблемы продовольственной безопасности Республики Беларусь.

# ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ КАК РЕЗУЛЬТАТ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВА ПО ЭНЕРГОЕМКОСТИ ПРОДУКЦИИ

Карпов В.Н., Иванникова Н.Ю.,

Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, г. С.-Петербург,  
Пушкин

Основным критерием качественной подготовки специалиста является его способность осуществлять производственно-технологическую деятельность. Для энергетика основное содержание такого вида деятельности в современном представлении заключается в надежном энергообеспечении всех энерготехнологических процессов (ЭТП), необходимых для производства продукции [1]. Указанная цель (надежность) достигается выбором энергетического оборудования по максимальной нагрузке, методике которого и посвящено основное содержание образовательного процесса в вузе. Однако, переход производства в рыночные условия вывел энергоемкость продукции (наряду с надежностью) в число определяющих конкурентоспособность. Это, в свою очередь, предъявляет новые требования к подготовке специалистов. Они заключаются в их способности управлять системой энергообеспечения в процессе производства продукции с целью минимизации расхода энергии.

Описанная в [1] методика определения энергоемкости энергетических процессов в любом элементе, в основу которой положен метод конечных отношений (МКО), делает практически доступным инструментальное определение величины и координат потерь по энергетическим линиям. Включение ЭТП, находящегося в конце линии, в число элементов, позволяет получать значения абсолютных перерасходов энергии и объективную численную оценку состояния энергетической системы потребителя в любой момент. Это дает основание говорить о возможности проведения объективного технического (инструментального) энергоаудита как в надзорных целях, так и по заявке самого потребителя

с целью снижения неэффективного использования энергии. Технической основой такой возможности является информационно-измерительная система (ИИС), во многом подобная известным коммерческим АСКУЭ, но отличающаяся принципиально кратковременностью использования и мотивацией. Основные требования к ИИС заключаются в одновременной регистрации (в пределе - непрерывной) значений энергетических параметров на элементах и специальном программном обеспечении. Промышленный образец такой системы на основе электронного многоканального регистратора прошел проверку при определении энергоемкости производства молока на предприятиях АПК.

Необходимо отметить, что включение всех видов ЭТП в энергетическую оценку эффективности использования энергии предполагает расширение обязанностей и ответственности энергетических служб, обусловленных требованием энергосбережения. Это, прежде всего, касается вспомогательных ЭТП и особенно ЭТП, обеспечивающих условия жизнедеятельности, по оборудованию которых на службу возложена только эксплуатационная ответственность. Основной производственный ЭТП также может находиться на ограниченной ответственности службы, обусловленной только надежностью энергообеспечения. Но оценку влияния технологии на общую энергоемкость продукции без специальных энергетических исследований не дать. Совершенно очевидно, что систематический технический энергоаудит будет давать различные значения энергоемкости продукции не только в зависимости от режимов загрузки оборудования и производительности технологии, но и от времени суток, месяца, сезона. Поэтому получению максимального научно обоснованного результата по энергосбережению должно предшествовать глубокое исследование системы энергообеспечения.

Рыночное возрастание значимости энергоемкости продукции не может не затронуть ее связь с экономическими показателями производства. Речь должна идти, прежде всего, о количественном влиянии снижения энергоемкости на доходность (прибыльность) производства. Попытка найти эту связь, предпринятая

в [2], привела к понятию частной доходности энергии, возрастающей при энергосбережении. Есть основания предполагать, что из всех факторов, создающих полную себестоимость продукции, только энергия обладает свойством увеличивать свою доходность за счет внутрипроизводственных мер по энергосбережению, и обеспечивать увеличение общей доходности. При этом, как уже указывалось, энергетическому совершенствованию должны подвергаться все процессы, связанные с потребленной энергией, и само энергосбережение должно рассматриваться как профессионально разработанный разносторонний проект с оценкой эффективности инвестиций. Из этого следует вывод о том, что становятся востребованными специалисты, владеющие не только глубокими профессиональными энергетическими знаниями, но имеющие навыки управления (менеджмента) энергетикой различных масштабов - от отдельного предприятия до региона. Особенностью сельскохозяйственного производства является обязательное наличие биологического объекта или процесса, что определяет агроинженерные факультеты и вузы в качестве приоритетных для подготовки эффективных специалистов.

Должна измениться и организационная форма их работы. Энергетической службе предприятия не под силу мониторинг рынка по оборудованию и технологиям, новым информационным технологиям, освоение и обновление современных принципов составления и обоснования экономических проектов и обеспечения их реализации. Реальным представляется создание специальных фирм, обладающих техническим оснащением и интеллектуальным ресурсом, которые могли бы участвовать в управлении энергетикой отрасли путем оказания внешних (аутсорсинговых) услуг предприятиям в виде инструментального энергоаудита, анализа его результатов, обоснования мер по энергосбережению как инвестиционного проекта.

Литература.

1. Карпов В.Н. Энергосбережение. Метод конечных отношений. СПб, СПбГАУ, 2005.-157с.

2. Карпов В.Н. Введение в энергосбережение на предприятиях АПК. СПб, СПбГАУ, 1999.-72 с.

## ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ В ТЕПЛИЧНОМ ОВОЩЕВОДСТВЕ

Герасимович Л. С.,

ЧУО «Институт современных знаний имени А. М. Широкова», г. Минск

В настоящее время в развитых странах мира повсеместно инициируется переход к постиндустриальной инновационной экономике знаний на основе интеллектуальной собственности как результата научно-технического прогресса [1,3]. Это вызвало необходимость перевода тепличного овощеводства на малообъемные технологии выращивания овощей на искусственных субстратах или на бессубстратные технологии. По сути дела, возникла мировая проблема перехода тепличного овощеводства на крупномасштабный биотехнологический путь развития [2].

Вместе с этим, тепличное производство овощей остается одной из самых энергозатратных отраслей агропромышленного производства. В западных европейских странах в середине 80-х годов прошлого столетия считалось, что тепличные хозяйства являются успешными, если урожай, например, крупноплодных томатов достигает  $35 \text{ кг/м}^2$  площади остекленной теплицы, а энергоемкость продукции составляет около  $16 \text{ кВтч/кг}$ . Сегодня урожаи там достигают  $60 \text{ кг/м}^2$  при энергоемкости  $11 \text{ кВтч/кг}$  продукции.

Такие результаты получены благодаря системному подходу к учету конкретных условий при реализации комплексной концепции создания инновационных проектов современных автоматизированных теплиц, адаптированных к местным агроклиматическим и другим особенностям производства благодаря совместным усилиям инженеров, технологов и селекционеров [2].

В тепличном овощеводстве Беларуси за последнее десятилетие более трех четвертей всех действующих зимних теплиц (около 190 га) переведено на указанные импортные автоматизированные технологии 90-х годов прошлого столетия. Это позволило в 2 – 3 раза повысить урожайность овощей и довести ее до 40 и более кг с 1 м<sup>2</sup> площади теплицы и тем самым снизить удельные затраты всех видов ресурсов на единицу продукции. Ведется строительство новых тепличных комплексов. Однако, в существующих тепличных комбинатах Беларуси сегодня энергоемкость продукции в 2 – 3 раза выше мировых значений. Среднее потребление электроэнергии по различным группам тепличных комбинатов республики колеблется от 0,07 до 3,4 кВтч/кг продукции, а тепловой энергии на отопление – от 33 до 125 кгут/кг продукции соответственно. Это связано с тем, что теория и практика энергосбережения в технологии биопродукционных технологических процессов тепличного овощеводства в Беларуси далека от своего завершения и научного обобщения, что носит фундаментально-ориентированный характер [2].

Развитие отечественного тепличного овощеводства имеет следующие особенности:

- **агроклиматические:** сравнительно небольшое время активного солнцестояния, что объективно сдерживает рост и урожайность овощных культур;
- **энергоэкономические:** высокая энергоемкость тепличной продукции при все возрастающей стоимости топливно-энергетических ресурсов вплоть до мировых цен, что существенно повышает себестоимость производства овощей;
- **техничко-технологические:** использование почти полностью импортного технологического оборудования и расходных материалов (субстратов, минеральных удобрений и др.), приобретаемых у разных производителей и не сертифицируемых в Беларуси, требующих постоянной адаптации к конкретным условиям отечественных тепличных комбинатов;
- **виды и состояние теплиц:** срок эксплуатации большинства зимних остеклованных теплиц превышает полтора десятка лет: они устарели физически

и морально и поэтому сравнительно энергозатратны; весенние пленочные теплицы имеют отсталую технологию выращивания овощей на почвогрунтах и пока не модернизируются. Перевод зимних теплиц на выращивание овощей на новые малообъемные и бессубстратные технологии в Беларуси требует увязки с агроклиматическими условиями Беларуси в конкретных условиях производства тепличных комбинатов и хозяйств, чтобы обеспечить существенное снижение энергоемкости и конкурентоспособность овощеводческой продукции в критические для Беларуси периоды года. Принятая программа строительства новых отечественных теплиц, учитывающих особенности промышленности, строительных и расходных материалов, должна быть максимально импортозамещающей, что также окажет влияние на режимы агротехнологических биопродукционных процессов в новых теплицах;

- **научный потенциал:** следует признать, что немногочисленные научные коллективы в Беларуси и научные обобщения не обеспечивают инновационное развитие отечественного тепличного овощеводства.

В этих условиях наиболее оправдана научная методология системного анализа, требующая комплексного решения задач, относящихся к системно-сложным объектам труда – биопродукционным системам [4, 3]. Она включает биологические объекты (овощи), среду их обитания, агроклиматические и антропологические воздействия внешней среды в течение всего цикла производства. Только на этой основе достигается существенное снижение энергоемкости овощеводческой продукции и повышается ее конкурентоспособность. Эта методология обеспечивает разработку системы требований к технологическому оборудованию, оптимальным режимам управления биопродукционными процессами, что, по сути дела, требует создания интеллектуальных энергоресурсосберегающих систем управления биопродукционными процессами в тепличном овощеводстве [2, 3].

Однако, в настоящее время в тепличном овощеводстве отсутствуют системные научные исследования энергоресурсоэффективности биопродукционных

процессов в зависимости от особенностей различных технологий выращивания овощей, используемого оборудования, режимов полива и поддержания микроклимата в теплицах с учетом потребностей рынка овощной продукции [4].

Под руководством автора длительный период исследуется технико-технологическая энергоресурсоэффективность тепличного овощеводства, питания овощей, выращиваемых на искусственных субстратах, а в 90-х годах прошлого столетия создан республиканский отраслевой центр тепличного овощеводства при БГАТУ, где выполнен комплекс фундаментальных исследований и разработаны научные основы питания овощей (томатов) на отечественных искусственных субстратах, созданы новые вентиляционно-отопительные системы и ряд технических решений управления микроклиматом в теплицах, а также установок для выращивания овощей в малообъемной культуре, защищенных авторскими свидетельствами на изобретения [2, 5], разработано программное обеспечение автоматизированного расчета энергосберегающих проектов с бизнес-планом обоснования системы мероприятий, в том числе и в тепличном овощеводстве [6].

В настоящее время нами проводятся исследования по оценке энергоэффективности системы и энергоресурсосберегающих биотехнологических бизнес-процессов в теплицах, учитывающие особенности сооружений защищенного грунта, отопительно-вентиляционного оборудования теплиц в условиях перевода тепличного овощеводства на новые технологии выращивания овощей и строительство современных отечественных теплиц, оснащаемых импортозаменяющим технологическим оборудованием, адаптированных к агроклиматическим и рыночным условиям Республики Беларусь.

Используются теоретические и экспериментальные методы системного энерго-экономического анализа, агротехнологических и агрофизических исследований, структурно-функционального моделирования с проверкой адекватности результатов в опытно-производственных условиях.

Программа исследований включает:

- системный энергетический анализ биопродукционных технологических процессов производства овощей;
- разработку и верификацию аналитических моделей биопродукционных и энергетических процессов;
- динамическое имитационное моделирование энергоресурсоэффективности открытых биопродукционных систем на представительной овощной культуре (томате);
- сравнительный анализ аналитических и экспериментальных исследований с оценкой чувствительности энергоресурсосберегающих агротехнологических режимов и других комплексных мероприятий;
- развитие теории и разработку научных методических рекомендаций по энергоресурсоэффективности биопродукционных процессов существующих и перспективных технологий в тепличном овощеводстве республики.

Ключевой целью исследований является создание интеллектуальной энерго-ресурсосберегающей системы управления биопродукционным бизнес-процессом выращивания овощей как подсистемы более высокого порядка сложности – интеллектуальной системы управления производством тепличных овощей.

Здесь под интеллектуальной системой понимается объединенная информационным процессом совокупность биологических объектов труда, технических средств и программного обеспечения, функционирующая в корпоративной локальной сети предприятия с выходом в глобальные телекоммуникационные сети, способная на основе использования сведений и знаний при наличии мотивации синтезировать цели, вырабатывать решения об агротехнологических режимах управления энергоресурсосберегающим биопродукционным процессом, находить рациональные способы и средства их реализации. При этом в разные периоды выращивания овощей в зависимости от конъюнктуры рынка требуется решение задачи соответствующего управления биопродукционным бизнес-процессом в режиме «on-line», обеспечивающего целевую функцию по следующим критериям: максимизация прибыли (глобальная цель предприятия в

рыночных условиях хозяйствования) и минимизация удельных энергозатрат (энергоёмкость овощеводческой продукции) как локальный критерий оптимального управления.

Такой подход потребовал перехода от известной методологии контекстно-независимых моделей систем управления к созданию и исследованию интеллектуальных (контекстно-зависимых) систем с использованием современных компьютерных информационных технологий, обеспечивающих взаимодействие человеко-машинных систем и биологических объектов труда, и развитию специальных лингвистических и других методов их описания.

#### Литература

1. Герасимович Л. С. Основы управления интеллектуальной собственностью: курс лекций / Л. С. Герасимович – Минск.: ИСЗ, 2007 – 116 с.
2. Веремейчик Л. А. Научные основы питания томатов на минеральных субстратах / Л. А. Веремейчик, Л. С. Герасимович; под ред. академика Л. С. Герасимовича – Минск.: Академия управления при Президенте Республики Беларусь, 2005 – 234 с.
3. Герасимович Л. С. Основы инженерного творчества: курс лекций / Л. С. Герасимович – Минск.: БГАТУ, 2006 – 83 с.
4. Герасимович Л. С. Системный анализ агроэнергетики: курс лекций / Л. С. Герасимович – Минск.: УП «Технопринт», 2004 – 126 стр.
5. Липницкий Л. А. Создание эффективных и надежных систем теплиц, оборудованных гидропонными установками / диссертация к. т. н. / Л. А. Лешинский – Минск.: БИМСХ, 1997
6. Практическое пособие по выбору и разработке энергосберегающих проектов. Под общей редакцией д. т. н. О. Л. Данилова, П. А. Костюченко – Москва.: 2007 – 668 с. Раздел «Компьютерное программное обеспечение автоматизированного расчета энергосберегающих проектов» / Л. С. Герасимович, В. В. Кошелев, В. В. Ширшова (диск, 35 тысяч электронных страниц)

## ПЕРСПЕКТИВЫ ЯДЕРНОЙ РЕЛЯТИВИСТСКОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Н. А. Корбут, М. В. Малько, Г. Г. Маньшин, В. Н. Сорокин, В. В. Сорокин  
МНОО «МАИТ», ОИЭ и ЯИ – Сосны НАН Беларуси», г. Минск.

Широкое использование ядерной энергетики сдерживается из-за серьезных недостатков, присущих работающим и проектируемым ядерным реакторам. Важнейшими из них являются:

- возможность протекания неконтролируемой цепной реакции, из-за наличия в активной зоне реактора сверхкритического количества делящегося вещества. Следствием этого принципиально неустранимого технического свойства являются взрывы с полным уничтожением реактора, как это случилось на американской АЭС Три-Майл-Айленд и советской подводной лодке в августе 1985 г. (корпусные водяные реакторы) и на реакторе Чернобыльской АЭС в апреле 1986 г. (канальный реактор) [1].
- высокий уровень остаточного тепловыделения в активной зоне, что при недостаточном охлаждении может привести к ее плавлению даже в случае остановленного реактора [2];
- образование в реакторе большого количества радиоактивных изотопов, которые при попадании в окружающую среду могут стать причиной облучения значительного количества населения даже за сотни километров от реактора [1,2];
- высокая стоимость реактора и инфраструктуры, которая требуется для локализации аварийных выбросов в пределах территории атомной станции [1];
- производство на реакторе делящихся веществ (плутоний), которые могут быть использованы для создания атомного оружия вплоть до атомных взрывных устройств [1, 2].

Кроме того, рыночная стоимость урана-235 – топливной основы современной атомной энергетики – очень быстро росла в последние годы.

Данные обстоятельства поставило задачу перед специалистами – разработать и предложить обществу новую структуру ядерной энергетики и, прежде

всего, создать экономичный, безопасный ядерный реактор, работающий на уране-238 и/или тории-232, запасы которых на Земле практически неисчерпаемы, а также реактор для накопленных сегодня долгоживущих радиоактивных изотопов в короткоживущие изотопы [3].

Не вызывает сомнения, что данная задача может быть решена. Исследования, выполненные в различных странах мира, показывают возможность создания безопасной ядерной энергетики на основе подкритических ядерных систем, управляемых ускорителем [4, 5] (ADS в англоязычной аббревиатуре).

Идея впервые высказана во времена бурного развития физики ускорителей еще в 50 годах. По причинам технологического характера на практике реализована не была. К ней вернулись существенно позже – в начале 90 годов. Интерес к новым энергетическим технологиям будировал нобелевский лауреат по физике Карло Рубиа (Италия), в недавнем прошлом директор ЦЕРН (Швейцария). Несмотря на явное противодействие «реакторного сообщества» ему удалось создать довольно сильную группу единомышленников, результатом работы которой стало повсеместное увлечение проектом «усилителя энергии» (energy amplifier). В США, Евросоюзе и Японии работы идут полным ходом. Исследователи сконцентрированы на трех направлениях – создании ускорителя, разработке реакторного блока, работе по конструкционным материалам и теплоносителю. По всем направлениям участие ученых и инженеров союзного государства самое активное.

Суть зарубежного предложения состоит в генерации протонами с энергией 1 ГэВ нейтронов в свинцовой мишени большой массы и использовании их в поджигании реакции деления в окружающем мишень реакторном блоке. Загрузка реактора может осуществляться любыми делящимися материалами, в том числе, и торием, что в программе Рубиа отражено отдельным разделом исследований. При этом вопрос ухода от урана-235 и плутония-239 никогда не поднимался. Наоборот, по идее разработчиков, все реакторы должны сжигать

уран-235 и оружейный плутоний-239, который пока неясно, куда девать, так как соответствующего топливного цикла пока на практике нет.

Цифра в 1 ГэВ является для европейского и японского проектов значимой. Экспериментально установлено, что максимум выхода нейтронов из свинцовой мишени (на единицу вносимой протоном энергии) приходится как раз на 1 ГэВ. Средняя энергия, затрачиваемая на создание одного нейтрона (с учетом энергии связи его в ядре свинца), составляет 8-10 МэВ. Полные энергетические затраты 1 ГэВ-ного протона на образование нейтронов составляют примерно  $30 \times 10 = 300$  МэВ или около 30%. Однако, в рамках этой (ADS) схемы при 1 ГэВ-ном протоне невозможно достичь положительного энергобаланса системы без использования урана-235 или плутония-239.

Здесь уместно отметить, что предмет ADS отличается известной сложностью, так как требует объединения знаний реакторной физики (а это низкие энергии, ограниченные уровнем примерно 10-20 МэВ) и физики высоких энергий. Вероятно, это является основным мотивом постоянного неприятия мнений оппонентов из двух «партий». На Западе это неприятие уже успешно преодолено.

Предлагаемый нами проект релятивистской тяжелоядерной (ЯРТ) энергетики существенно отличается от проекта ADS.

Основа отличия – удаление промежуточного звена – свинцовой мишени, то есть генерация нейтронов, как первичных, так и вторичных непосредственно в активной зоне из природного тория, обедненного или природного урана. При этом предлагается также повысить энергию пучка до 10-50 ГэВ. Это позволяет повысить долю энергии первичного протона, идущую на нейтронообразование (по экспериментальным данным уже при энергии первичного протона 3,7 ГэВ на нейтронообразование идет 46% энергии, а при 10 ГэВ по балансовым оценкам – 66%) и сместить спектр нейтронов в более жесткую область. Тем самым значительно увеличивается коэффициент усиления, в частности и за счет затухающей цепной реакции деления. Особо отметим, что торий в тепловом и, даже, в быстром реакторах использован как топливо быть не может.

Нейтроны с энергией более 10 МэВ называются релятивистскими.

В случае использования релятивистских нейтронов от внешнего источника не требуется помещение в активную зону реактора сверхкритического количества ядерного топлива и материалов, компенсирующих этот избыток делящегося вещества. В силу данного обстоятельства, ядерные реакторы на релятивистских нейтронах исключают возможность развития неконтролируемой цепной реакции, подобной цепной реакции, протекающей в атомной бомбе. И в этом коренное различие реакторов, используемых в настоящее время, и реакторов на релятивистских нейтронах. Важно и то, что этот тип реакторов на порядок снижает уровень наработки изотопов плутония, которые могли бы быть использованы для создания атомной бомбы, а также долгоживущих радиоактивных изотопов, которые могут повышать радиоактивность окружающей среды и количество заболеваний у населения. При взаимодействии нейтронов с энергией более 10 МэВ с тяжелым ядром (например  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{238}\text{U}$ ), вследствие симметричного деления этих ядер образуются в основном стабильные изотопы индия, олова, сурьмы и др.

Таким образом, отсутствие долгоживущих радиоактивных изотопов, в том числе актиноидов, снимает проблемы нераспространения ядерного оружия и радиоактивного заражения среды при диверсиях, резко повышает коммерческую жизнеспособность, решает проблему топлива (используются отвалы  $^{238}\text{U}$ ).

Отличительной особенностью ядерных реакторов на релятивистских нейтронах является наличие ускорителя заряженных частиц, например, протонов, позволяющего создавать потоки таких частиц с энергиями до десятков ГэВ. Частицы, попадая в активную зону, порождают релятивистские нейтроны, которые вызывают цепную реакцию деления изотопов урана-238 или тория-232. Выключение ускорителя приводит к мгновенному прекращению деления этих веществ. И именно это обстоятельство полностью исключает возможность аварии, подобной Чернобыльской аварии, а, следовательно, позволяет создать действительно безопасный ядерный реактор.

Совершенно ясно, что развитие ядерной энергетики на релятивистских нейтронах полностью решает задачи, названные в 2000 году Президентом Российской Федерации В. В. Путиным на саммите тысячелетия в Нью-Йорке: ядерный реактор не должен

- использовать обогащенный уран или плутоний;
- накапливать долгоживущие радиоактивные изотопы;
- накапливать делящиеся изотопы, используемые для создания ядерного оружия.

Реализация схемы ЯРТ энергетики возможна исключительно за счет наличия технологии трехмерного модульного компактного ускорителя протонов на обратной волне (BWLAP/FDC2(3)D в англоязычной аббревиатуре). Ускоритель отличают компактность (установка на 10 ГэВ имеет размеры 50x18x4 м) и высокий КПД ) [6].

Основные преимущества ЯРТ энергетики таковы:

атомные реакторы ЯРТ ядернобезопасные;

перегрузка ЯРТ реакторов один раз за сто лет;

ЯРТ реакторы могут работать в маневренном режиме за счет изменения мощности пучка протонов;

ЯРТ реакторы не требуют обогащенного топлива;

ЯРТ энергетика обеспечит отсутствие выбросов радиоактивных газов;

ЯРТ энергетика не требует управления ядерными отходами из-за отсутствия в их составе долгоживущих изотопов;

площадь для размещения ЯРТ станции (ЯРЭС) значительно меньше, чем АЭС равной мощности;

малы затраты на топливо, нет затрат на обогащение, нет затрат на обращение с отходами;

затраты на вывод ЯРТ реактора на три прядка ниже;

ЯРТ энергетика обеспечена топливом на 3-5 тысяч лет; безопасность и надежность на уровне тепловых станций на органическом топливе;

отсутствуют материалы для производства оружия, решаются проблемы нераспространения;

катастрофоустойчивость (включая террористические акты) на уровне тепловых станций на органическом топливе.

Таким образом, ЯРТ энергетика не только полностью соответствует современным концепциям перспективной атомной энергетики (ИНПРО, G IV), но и устанавливает новый качественно более высокий уровень безопасности и технико-экономических параметров, составляющих основу нового рубежа G V.

### Литература

1. Кузнецов В. М. Радиационное наследие холодной войны: опыт историко-науч. исследования / В. М. Кузнецов, А. Г. Назаров; Институт истории естествознания и техники им. С. В. Вавилова РАН, Рос. Зеленый Крест. – М.: Ключ-С, 2006. 720 с.

2. Климов А. Н. Ядерная физика и ядерные реакторы. – М.: Энергоатомиздат, 1985. 352 с.

3. Велихов Е. П. Методология ИНПРО и ее соотношение с наукой и реальностью // Бюлл. по атомной энергии. 2007. № 5. С.15.

4. Чужимого К. и др. Система для трансмутации младших актиноидов со свинцово-висмутовым теплоносителем, управляемая ускорителем // Атомная техника за рубежом. 2006. № 9. С.18.

5. Галанин М. В. и др. Теоретические основы релятивистской тяжелой ядерной энергетики // Глобальные проблемы безопасности современной энергетики (материалы международной научной конференции). К 20-летию катастрофы на Чернобыльской АЭС (Москва, 4-6 апреля 2006 г.) – М.: МНЭПУ, 2006. 562 с. С. 402.

6. Бакиров Т. С., Богомолов А. С. BWLAP/FDC3D для релятивистской тяжелой ядерной энергетики // там же. С.414.

## СОСТОЯНИЕ И ОСНОВНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЮ В АПК БЕЛАРУСИ

Русан В.И.,

УО Белорусский государственный аграрный технический университет, г.

Минск

Букато В.М.,

ООО «МНВЦЭ Энерготехно», г. Минск.

Мировой опыт показывает, что потребление ТЭР во всех странах мира неуклонно увеличивается. Так, например, в 1800 г. было добыто 15 млн. т у.т, в 1900г. – 760 млн. т у.т, а уже 1985г. – 10 млрд. т у.т, а через 15 лет, т.е. в 2000 г. – 19,6 млрд. т у.т. И, безусловно, наращивание потребления ТЭР будет продолжаться ускоренными темпами и в 21 веке. Такая тенденция характерна и для Беларуси. В 2002 г. потребление ТЭР 26,5 млн. т у.т. (без учета светлых нефтепродуктов и сырья), а всего – свыше 34 млн. т у.т., т.е. больше чем во всем мире в 1800 г. При этом в республике низкая эффективность использования ТЭР: при расходовании 1 кг у.т. производится продукции стоимостью 1,07 usd, Финляндия – 4,76 usd, Франция – 6,67 usd, а Дания и Швейцария – 11,5 usd. С другой стороны республика отстает по показателю ВВП (2,54 тыс. usd) на душу населения от Чехии в 2 раза, от Финляндии в 10 раз и от Швейцарии в 18 раз. В республике также низкий показатель потребления ТЭР на душу населения (2,4 т у.т. на чел. в год). В Финляндии этот показатель составляет 6,46, в России – 4,12, а в США – 8,32 т у.т. Исходя из приведенных цифр, стратегической задачей Беларуси является сокращение потребления объема ТЭР (они на 85% импортные) при необходимости резкого роста ВВП на душу населения, хотя бы до уровня Германии (31,5 т. usd на 1 чел. в год). Отсюда вытекает и основная задача: наращивание роста ВВП республики без практического увеличения закупок ТЭР, т.е. в основном за счет энергосбережения. И здесь имеются стимулирующие факторы: наращивание 1 кВт мощности обходится в 400-450 usd, а энерго-

сбережение позволяет сократить расход ТЭР на 1 кВт с затратами всего в 100-120 usd. Снижение затрат ТЭР на единицу ВВП за счет мероприятий по энерго-сбережению и является, на наш взгляд, основным путем решения существующих проблем.

В АПК Беларуси, в настоящее время потребляется около 3,0 млн.т у.т. (10 % от всего потребления ТЭР в стране). Энергетическая составляющая в стоимости продукции сельского хозяйства составляет 11,5 %, а затраты энергоносителей для производства 1 ед. ВВП достигли 40 % (такой же показатель и в целом по республике) /1/.

В докладе проводится анализ структуры и причины нерационального потребления ТЭР, рассматриваются вопросы повышения эффективности их использования в АПК.

В целях экономии котельно-печного топлива особое внимание необходимо обратить на замену и модернизацию котельного оборудования, которое, как правило, выработало свой ресурс, морально и технически устарело и имеет низкий КПД. Режимно-наладочные испытания (РНИ) таких котельных агрегатов практически мало влияют на повышение их КПД.

На предприятиях АПК, практически, не ведется работа по использованию вторичных энергетических ресурсов (ВЭР). И если в промышленности Беларуси потенциал ВЭР возможный для использования оценивается в 12 млн. Гкал, то в АПК этот потенциал оценивается в 2,5-3,0 млн. Гкал. И если в промышленности основным препятствием использования ВЭР являются трудности по их применению в технологии, то в АПК имеется широкое поле для их использования. Это теплицы, всевозможные сушилки, отопление и вентиляция и т.п. /2/.

Директива Президента Республики Беларусь № 3 «Экономия и бережливость – главные факторы экономической безопасности государства» – это программа по экономии и рациональному использованию ТЭР на период до 2020 года. Началом работы по претворению этой программы в жизнь является выполнение энергетического обследования на каждом предприятии.

Несомненно, энергетические обследования (энергоаудиты) являются основным инструментом энергетического менеджмента. Их роль особенно важна на современном этапе развития нашего общества в сложившихся геополитических и экономических условиях – необеспеченность республики собственными энергетическими ресурсами, постоянное удорожание закупаемых энергетических ресурсов. Энергетические обследования должны проводиться на базе современных технических и программных средств, которые позволяют проведение этих работ на высоком, качественно новом уровне. Этот уровень еще в большей степени зависит от профессионализма, опыта и инициативы специалистов, занимающихся проведением энергетических обследований. Аудиторы должны быть не только квалифицированными и опытными инженерами-энергетиками, но очень важно знание предприятия, понимание технологических процессов, материальных и энергетических потоков обследуемого предприятия.

Межотраслевой научно-внедренческий центр энергосбережения «Энерготехно» на протяжении ряда лет занимается проведением энергетических аудитов на предприятиях и накоплен определенный опыт в выполнении этих работ. В среднем в год нашими специалистами проводится 9-10 энергоаудитов на различных предприятиях в разных отраслях народного хозяйства.

Если ранжировать мероприятия, предлагаемые в результате энергообследований по эффективности, то на первом месте будут мероприятия по повышению эффективности использования тепловой энергии и, в первую очередь, – повышение эффективности использования пара, как наиболее дорогостоящего теплоносителя и к тому же отличающегося наиболее высокими потерями при его транспортировке и использовании. Здесь необходимо прежде всего отметить значительные потери тепловой энергии из-за отсутствия или неэффективно работающих конденсатоотводчиков, могут достигать до 40% и более. Основная причина – отсутствие на рынке конденсатоотводчиков отечественного производства и производства стран СНГ, а зарубежные (Англия, Германия, Дания, Япония) естественно дороги и их окупаемость составляет 4-5 лет и более. Учи-

тывая большой и постоянный спрос на конденсатоотводчики на внутреннем рынке, а также на рынке ближнего зарубежья, на наш взгляд было бы экономически оправдано наладить их серийное изготовление в Республике Беларусь.

Значительный потенциал энергосбережения имеется в снижении расхода тепловой энергии на обогрев и вентиляцию зданий за счет их тепловой реабилитации. Однако стоимость необходимых для этого строительных конструкций и материалов (стеклопакеты, изоляционные плиты и др.) дороги и окупаемость таких мероприятий составляет при этом более 10 лет.

Мероприятиями, дающими наибольшую эффективность использования электрической энергии, являются мероприятия по внедрению частотно-регулируемого электропривода на общепромышленных механизмах с вентиляторной нагрузочной характеристикой (компрессоры, вентиляторы дымососы, воздуходувки, насосы), работающие с переменной производительностью в соответствии с технологическим регламентами. По обобщенным данным энергообследований снижение расхода электроэнергии при внедрении частотно-регулируемого электропривода составляет 15-20 %, а срок окупаемости менее 3-х лет. Так, например, внедрение частотно-регулируемого электропривода фирмы «OMRON» мощностью 90 кВт на компрессоре 2BM2,5-14/9 в ОАО «8 марта» г. Гомель по нашей проектно-сметной документации позволило получать годовую экономию электроэнергии около 80 000 кВт·ч при сроке окупаемости 2,7 года. И здесь также уместно отметить, что мероприятия по внедрению частотно-регулируемого электропривода могли бы стать более привлекательными при снижении стоимости и повышении потребительских качеств отечественных частотных преобразователей.

Значительные резервы по снижению расхода электроэнергии имеются в освещении производственных и административно-бытовых помещений, а внедрение энергоэффективных мероприятий по замене светильников с лампами накаливания и люминесцентными с электромагнитными пускорегулирующими

устройствами (ППА) на люминесцентные с электронными пускорегулирующими устройствами (ЭППА) пока не имеет должного распространения.

Что касается мероприятий по снижению расхода топлива, то это в первую очередь - повышение эффективности работы котельных и перевод существующих котельных и строительство новых на местных видах топлива.

Из практической работы по проведению энергетических обследований предприятий и организаций следует, что эта работа, несомненно, являющаяся основным инструментом при определении потенциала энергосбережения и мероприятий по рациональному использованию и экономии топливно-энергетических ресурсов, приводится далеко не всеми субъектами хозяйствования. Причина, по нашему мнению, кроется, прежде всего, в отсутствии эффективно работающего экономического механизма, который вынуждал бы предприятия проводить эту работу при финансировании из собственных источников.

Считаем, что профильным НИИ и ВУЗам совместно с Департаментом по энергоэффективности целесообразно было бы сосредоточиться на совершенствовании методик по энергообследованиям, особенно по отдельным прогрессивным энергосберегающим технологиям в различных отраслях народного хозяйства, а также на совершенствовании механизма экономической заинтересованности предприятий в проведении энергетических обследований и внедрении энергосберегающих мероприятий.

Считаем необходимым также отметить, что ООО «МНВЦЭ Энерготехно» - единственная организация в Республике Беларусь, которая получила сертификат на энергетические обследования предприятий всех отраслей народного хозяйства без ограничений по потреблению ТЭР. (Сертификат № ВУ/112.04.001.00013 от 07.09.2007г.).

В заключение, хотелось бы остановиться на организационных мероприятиях по экономии ТЭР. С участием авторов в 2000 г. была разработана схема приоритетности энергосберегающих мероприятий, которая применима для всех предпри-

ятий. 26 технических мероприятий ранжированы по величине энергоэффективности их внедрения (энергоэффективность – величина обратная сроку окупаемости).

И, конечно же, важнейшим элементом в деле экономии и рациональном использовании ТЭР являются специалисты. В очень большой мере отношение к энергосбережению на предприятии зависит от отношения к этому вопросу руководства предприятия.

В странах Европы для оценки отношения руководства предприятия к вопросам энергосбережения разработана, так называемая Европейская матрица энергоменеджмента, которая излагается в докладе.

Раздавая эти матрицы руководителям наших предприятий, можно тоже добиться некоторых успехов в энергосбережении. Оценивая себя по этой матрице, почти каждый руководитель предприятия не поднимется выше 2-3 уровня (т.е. 2 или 3 за работу).

Опыт показывает, что без полной поддержки руководства предприятия можно достичь только весьма скромных результатов в работе по энергосбережению. Руководители, принимающие решения и выделяющие финансовые средства, должны ясно представлять себе необходимость работы по энергосбережению.

И последние несколько слов об отношении к проблеме экономии ТЭР в стране. В Директиве Президента №3 есть перечень мероприятий Министерству информации и Министерству образования. Необходима работа по экономии ТЭР начиная с бытового уровня: конкурсы, смотры, игры и т.д. и несомненно, обучение подрастающего поколения, начиная с детского сада, школы, среднего учебного заведения, высшей школы.

#### Литература

1. Концепция энергетической безопасности Республики Беларусь. Минск, 2003.
2. Букато В.М., Русан В.И. Экономические аспекты снижения ТЭР в народном хозяйстве РБ. Материалы семинара ЕСПиН. Минск, 2003.

3. Итоги работы Комитета по энергоэффективности при СМ РБ за 2002 г. Минск, 2003.

4. Директива Президента Республики Беларусь № 3 от 14.06.2007г. «Экономия и бережливость – главные факторы экономической безопасности государства».

## **УСТАНОВКИ УТИЛИЗАЦИИ СБРОСНОГО ТЕПЛА ПРИ ПОНИЖЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ ПРИТОЧНОГО ВОЗДУХА.**

Лебедев Д.П., Шаталов М.П., Самсонова Е.А.;

ГНУ ВИЭСХ, г. Москва

Одним из перспективных направлений энергосбережения в сельскохозяйственных технологиях является разработка и внедрение энергоэкономического оборудования и систем для создания микроклимата животноводческих помещений. В ГНУ ВИЭСХ в таких теплотехнологиях использовались:

- теплоутилизационные установки сбросного тепла на базе пластинчатого перекрестноточного рекуперативного теплообменника из полимера;

- поддержание микроклимата на нормативном уровне в животноводческом помещении путем последовательного соединения полимерного перекрестноточного теплообменника и газовоздушного теплообменника подогревателя;

- автоматизированная система кондиционирования воздуха (АСКВ). АСКВ позволяет экономить до 80-90% энергии сбросного тепла воздуха животноводческого помещения и соответственно сократить на 80-90% потребление энергии [1].

В [1] рассмотрены термодинамические основы разработки установок теплоутилизации сбросного тепла при температурах  $t_p$  приточного воздуха животноводческих помещений выше температуры насыщения  $t_s$  ( $t_p > t_s$ ), т.е. процесс конденсации на рабочих поверхностях полимерного теплообменника отсутствовал.

Принципиальные особенности имеют условия эксплуатации теплоутилизации сбросного тепла при температурах приточного воздуха ниже температуры насыщения  $t_s$  до температур ниже температуры замораживания конденсата

воздуха  $t_1$ . Для условий животноводческого помещения на 160 голов температура замораживания конденсата составляет  $t_3 = -4 \div -6^\circ\text{C}$ .

Низкая температура приточного воздуха приводит к замораживанию конденсата вытяжного воздуха в установке и нарушению ее эксплуатационных характеристик.

Используя эффект "холодного угла" в перекрестноточном теплообменнике позволило создать теплоутилизационные установки, работающие при температурах до  $-30^\circ\text{C}$ , рис. 1. [2].

Установка включает в себя короб 1 с введенным в него перекрестноточным теплообменником 2 и газо-воздушным теплообменником 5 с вентиляторами приточного 3 и вытяжного 4 воздуха. Наружный чистый холодный воздух вводится через клапан 7. Грязный влажный воздух из помещения вводится в установку вытяжным вентилятором 4 и выводится из помещения через клапан 8.

Полимерный теплообменник 2, по сравнению с теплообменниками из металла, имеет высокую коррозионную стойкость к загрязненному аммиаком, углекислотой и другими газами влажному вытяжному воздуху.

В соответствии с базовой термодинамической схемой системы установки чистый приточный воздух догревается до нормативных температур в газо-воздушном теплообменнике 5, исходя из показаний датчика 13 температур, блоком 10 путем изменения расхода газа. Для исключения замораживания конденсата в теплообменнике 2 при температурах ниже температуры замораживания конденсата из вытяжного воздуха используют нагрев "холодного" угла электрическим нагревателем 6 в полимерном теплообменнике 2, регулируемый блоком контроля 9. Вывод конденсата с поверхностей теплообменника 2 проводится через трубку 12. Представленная на рис. 1 установка имеет высокие энергоэкономические показатели.

Изоэнтальпийный КПД теплоутилизационной установки 43 %.

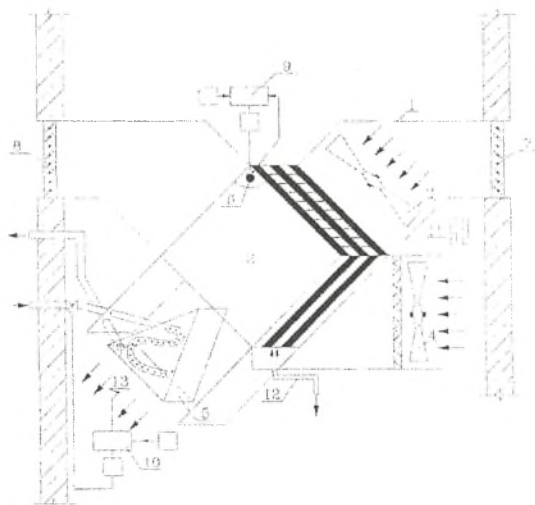


Рис.1 Теплоутилизационная установка

1-Короб; 2-Полимерный теплообменник; 3-Приточный вентилятор; 4-Вытяжной вентилятор; 5-Газовоздушный теплообменник; 6-Нагреватель "холодного угла"; 7,8-Клапаны; 9-Блок контроля нагрева; 10-Блок контроля расхода газа; 11-Датчики температуры и влажности; 12-Трубка отвода конденсата; 13-Датчик температуры.

#### Литература

1. Мишуров Н.П., Кузьмина Т.Н. Энергосберегающее оборудование для обеспечения микроклимата в животноводческих помещениях. М. ФГНЦ «Росинформатех», 2004 г., 163 с.
2. Лебедев Д.П., Шаталов М.П. Установка для утилизации сбросного тепла животноводческих помещений. Патент по заявке № 2006104214/12. Решение о выдате 22.06.07.

УЧЕТ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИСХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ  
ВЫБОРЕ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Анищенко В.А., Кирспу А.Ю.

УО «Белорусский национальный технический университет», г. Минск

Неоднозначность выбора трансформаторов и линий электропередач систем электроснабжения вызвана недостоверностью расчетной нагрузки. Причиной последней является неточность расчетных коэффициентов, удельных расходов электроэнергии и других необходимых для расчета нагрузок параметров. С изменением технологических процессов, использованием в производстве нового оборудования, вводом автоматизированных систем управления технологическим процессом изменяются значения этих параметров.

Следует также учитывать тенденции изменения нагрузок во времени. Во многих случаях эта тенденция выражается линейным законом [1]

$$S_p[t] = S_p(1 + \alpha_1 t), 0 < t < T_{np}, \quad (1)$$

где  $S_p$  – расчетная нагрузка, кВт·А;  $S_p[t]$  – расчетная полная мощность через  $t$  лет, кВт·А;  $\alpha_1$  – коэффициент годового роста максимальных (расчетных) нагрузок, который колеблется от 0,03 до 0,1;  $[0; T_{np}]$  – период времени, в течение которого оценивают рост нагрузок (прогнозное время), лет.

Таким образом, переход от точечной расчетной нагрузки  $S_p$  к ее интервальной оценке  $S_p \pm \Delta S_p$  [2], которая учитывает погрешность определения нагрузки и учет тенденции изменения нагрузок во времени, позволяет получить нижнюю  $S_p^{\min}[t]$  и верхнюю  $S_p^{\max}[t]$  границы ожидаемой расчетной нагрузки потребителя

$$S_p^{\min}[t] = (S_p - \Delta S_p)(1 + \alpha_1^{\min} t^{\min}), \quad (2)$$

$$S_p^{\max}[t] = (S_p + \Delta S_p)(1 + \alpha_1^{\max} t^{\max}), \quad (3)$$

где  $\Delta S_p$  – предполагаемая погрешность расчетной нагрузки, кВ·А;  $\alpha_1^{\min}$  – минимально ожидаемое значение коэффициента годового роста расчетных нагрузок;  $t^{\min}$  – минимально ожидаемое значение прогнозируемого времени, лет;  $\alpha_1^{\max}$  – максимально ожидаемое значение коэффициента годового роста расчетных нагрузок;  $t^{\max}$  – максимально ожидаемое значение прогнозируемого времени, лет. Тогда диапазон расчетных номинальных мощностей трансформатора  $[S_H^{\min}[t], S_H^{\max}[t]]$  на момент времени  $t$  (рисунок 1)

$$S_H^{\min}[t] = \frac{(S_p - \Delta S_p)(1 + \alpha_1^{\min} t^{\min})}{k_3^{\max} N_T}, \quad (4)$$

$$S_H^{\max}[t] = \frac{(S_p + \Delta S_p)(1 + \alpha_1^{\max} t^{\max})}{k_3^{\min} N_T}, \quad (5)$$

где  $S_H^{\min}[t]$  – нижняя граница расчетной мощности трансформатора, кВ·А;  $S_H^{\max}[t]$  – верхняя граница расчетной мощности трансформатора, кВ·А;  $k_3^{\max}$  – максимально допустимый коэффициент загрузки трансформатора, зависящий от числа трансформаторов  $N_T$  на подстанции;  $k_3^{\min}$  – минимально допустимый коэффициент загрузки трансформатора.

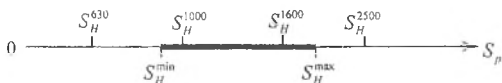


Рисунок 1 – Расчетные и номинальные мощности трансформаторов

В общем случае при выборе типоразмеров трансформаторов следует учитывать все стандартные номинальные мощности (250 кВ·А, 400 кВ·А, 630 кВ·А, 1000 кВ·А, 1600 кВ·А, 2500 кВ·А), которые попали в интервал  $[S_H^{\min}[t], S_H^{\max}[t]]$ , а также ближайшую мощность трансформатора, лежащую правее данного интервала.

Выбор наиболее подходящего типоразмера трансформатора из выделенного набора мощностей производится путем сравнения суммарных приведенных затрат для каждого варианта.

Для случая представленного на рисунке 1, следует рассмотреть три варианта

$$Z_1 = E_H K_1 + C_1 + Y_1, \quad (6)$$

$$Z_2 = E_H K_2 + C_2 + Y_2, \quad (7)$$

$$Z_3 = E_H K_3 + C_3, \quad (8)$$

где  $Z_1$  и  $Z_2$  – приведенные затраты по первому и второму вариантам ( $S_H^{1600}$ ,  $S_H^{600}$ ), руб., когда номинальные мощности трансформаторов попадают в интервал  $[S_H^{\min}, S_H^{\max}]$ ;  $K_1$  и  $K_2$  – единовременные капитальные затраты по этим же вариантам, руб.;  $C_1$  и  $C_2$  – постоянные ежегодные эксплуатационные расходы по этим же вариантам, руб.;  $Y_1$  и  $Y_2$  – ущерб, руб., вызванный ожидаемым вынужденным отключением части потребителей из-за длительного превышения фактической нагрузки номинальной полной мощности трансформатора  $S_H^{1000}$  и трансформатора  $S_H^{600}$ , соответственно;  $Z_3$  – приведенные затраты по третьему варианту ( $S_H^{2500}$ ), руб., т.е. номинальная мощность трансформатора является ближайшей правее интервала  $[S_H^{\min}, S_H^{\max}]$ ;  $K_3$  – единовременные капитальные затраты по третьему варианту, руб.;  $C_3$  – постоянные ежегодные эксплуатационные расходы по третьему варианту, руб.;  $E_H$  – нормативный коэффициент экономической эффективности.

Величину ущерба потребителя определяем по формуле

$$Y = y_0 W_{cp}^{неп} [t], \quad (9)$$

где  $y_0$  – удельный ущерб, обусловленный вынужденным отключением части потребителей, руб./кВт·ч;  $W_{cp}^{неп} [t]$  – ожидаемая средняя на  $[0; T_{нр}]$  величина годового недоотпуска электроэнергии из-за возможной перегрузки трансформатора, кВт·ч.

Задавая диапазонами, в которых располагаются значения  $y_0$ ,  $S_p$ ,  $\alpha_1$ ,  $t$ ,  $k_3$  и кривой нормального закона распределения, можно получить границы перехода от одних типоразмеров трансформаторов к другим на основании минимума приведенных затрат.

#### Литература

1. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию. Т.1. Электроснабжение / Под общ. Ред. А.А. Федорова. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 568 с.
2. В.А.Анищенко, А.Ю.Кирспу Учет неопределенности исходной информации при проектировании систем электроснабжения // Вестник ГТТУ им. П.О. Сухого. – 2005. – №3. – С. 25–29.

## ОБНАРУЖЕНИЕ ДЕФЕКТОВ В ОБМОТКАХ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Брановицкий И.И., Размыслович Г.И., Мацкевич П.Д.

Институт прикладной физики НАН Беларуси, г. Минск

Надежность и долговечность электроэнергетического оборудования в значительной степени определяется состоянием его обмоток, например, вероятностью образования в них дефектов в виде витковых замыканий. Появление последних связано обычно с разрушением изоляции благодаря воздействию вибраций, температуры и других факторов, вызванных условиями эксплуатации. Наличие короткозамкнутых контуров (КЗК), сцепленных с основным магнитным потоком в сердечнике существенно ухудшает технические характеристики электрооборудования и надежность его работы. Из сказанного вытекает практическая необходимость и важность проведения работ по изучению влияния КЗК на электрические процессы в обмотках электрооборудования, разработке и развитию методов и средств их диагностирования. Тем более, что используемые методы и

средства диагностики обмоток электрооборудования являются, как правило, системами индикаторного типа и требуют повышения информативности и чувствительности.

В данной работе обсуждаются результаты исследований влияния КЗК на переходные электрические процессы в обмотках электродвигателей, и приведены сведения о разработанном приборе для выявления витковых замыканий.

Рассматривался колебательный контур  $C_1L_1R_1C_2L_2R_2$ , где  $L_2$  – испытываемая, например, статорная обмотка электродвигателя,  $R_2$  – токосъемный резистор,  $C_2$  – высоковольтный конденсатор,  $R_1$  – токовый резистор,  $L_1$  – демпфирующая катушка,  $C_1$  – дополнительный конденсатор (рис. 1). Определялись переходные значения тока и напряжения в нем при воздействии напряжения синусоидальной формы и коммутации ключа К из 1 в 2. Предполагалось, что испытываемая обмотка  $L_2$  содержит КЗК. Это приводит к уменьшению ее

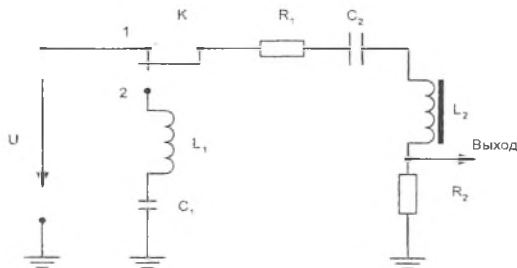


Рисунок 1. Схема возбуждения затухающих электрических колебаний

индуктивности  $L_2$  на величину  $L$ . В результате анализа были получены выражения для тока переходного процесса в контуре, когда испытываемая обмотка содержит КЗК (1), и без КЗК, соответственно, (2):

$$i(t) = e^{-\frac{R}{2(L_2 - \Delta L)}t} \left( i_0 \cos \frac{t}{\sqrt{C(L_2 - \Delta L)}} - \left( \frac{CRi_0}{2\sqrt{C(L_2 - \Delta L)}} + \frac{U_{C_1}^0 C}{\sqrt{C(L_2 - \Delta L)}} \right) \sin \frac{t}{\sqrt{C(L_2 - \Delta L)}} \right) \quad (1)$$

$$i(t) = e^{-\frac{R}{2L}t} \left( i_0 \cos \frac{t}{\sqrt{CL_2}} - \left( \sqrt{\frac{C}{L_2}} \frac{R}{2} i_0 + \sqrt{\frac{C}{L_2}} U_{C_1}^0 \right) \sin \frac{t}{\sqrt{CL_2}} \right), \quad (2)$$

где  $R$  - омическое сопротивление контура;  $C$  - емкостное сопротивление контура.

Сравнение (1) и (2) показывает, что КЗК уменьшает характеристическое сопротивление ( $\rho = \sqrt{\frac{L}{C}}$ ) и добротность ( $Q = \frac{\rho}{R}$ ) всего колебательного контура.

Частота свободных колебаний контура  $\omega = \frac{1}{\sqrt{CL}}$ , как и декремент затухания  $\delta = \frac{R}{2L}$ , увеличиваются. В результате скорость затухания переходного процесса в рассматриваемом колебательном контуре в целом растет.

С учетом изложенного анализа были проведены экспериментальные исследования влияния КЗК на переходные процессы в обмотках статоров трех- и однофазных электродвигателей. В качестве примера, на рис.2 представлены осциллограммы затухающих колебаний в рассматриваемом контуре при различном числе КЗК в обмотке  $L_2$  и при их отсутствии. Экспериментальные результаты согласуются с выводами о характере влияния КЗК на переходные процессы, сделанными при их теоретическом анализе.

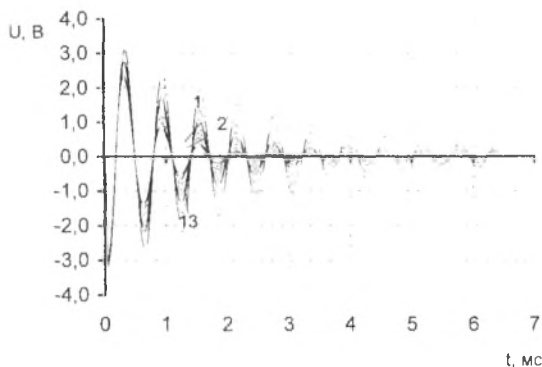


Рисунок 2 Затухающие колебания при: 1 - без КЗК; 2 - 1 КЗК; ...; 13 - 12 КЗК.

На основе проведенных исследований и анализа их результатов была разработана методика диагностирования обмоток одно- и трехфазных электродвигателей, применимая и для диагностирования другого электрооборудования. Указанная методика диагностирования реализована на аппаратном и про-

граммном уровнях в приборе ДО-1, представленном на рис. 3. Методически прибор ДО-1 позволяет проводить визуальное сравнение

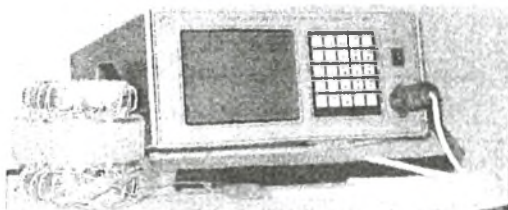


Рисунок 3. Прибор для диагностики обмоток электрооборудования ДО – 1

и анализ кривых затухающих колебаний в испытуемых обмотках с эталонными, записанными в память прибора, а также их разностных сигналов. При этом на табло могут отображаться численные значения основных параметров затухающих колебаний и разностного сигнала, в том числе в области максимальной чувствительности переходных процессов к влиянию КЗК. Все это существенно повышает чувствительность и информативность прибора.

## **РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ В ВЕРТИКАЛЬНОМ ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ ЗАЗЕМЛИТЕЛЕ**

Герасимович Д.А., Дерюгина Е.А.

УО Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Заземляющие устройства являются неотъемлемой частью электроэнергетических систем, влияющие на надежность их работы и на безопасность обслуживающего персонала [1]. Заземление выполняет значительное число функций, основными из которых являются отвод токов короткого замыкания в землю и снижение уровня потенциалов на корпусах электрооборудования до безопасных значений.

Большинство предлагаемых методов и моделей расчета заземляющих устройств электроустановок основывается на модели потенциала постоянного тока

и сводятся к расчету активного сопротивления заземляющего устройства [2, 3]. В реальных условиях в заземляющих устройствах протекают переменные токи промышленной частоты и импульсные токи, вызванные разрядами молний.

Для учета отмеченных факторов расчет электромагнитного поля уединенного вертикального стержневого заземлителя при протекании переменного тока промышленной частоты основан на системе уравнений Максвелла. Расчет электромагнитных параметров поля рассматривается на модели, которая состоит из самого стержневого заземлителя, переходного слоя растекания тока между землей и заземлителем и собственно земли. Каждому слою присущи свои электрические проводимости и магнитные проницаемости.

Электромагнитное состояние в каждом рассматриваемом слое описывается системой уравнений [4]:

$$\operatorname{rot} \vec{H}_i = \vec{\sigma}_i; \operatorname{rot} \vec{E}_i = -\frac{\partial \vec{B}_i}{\partial t}; \operatorname{div} \vec{\sigma}_i = 0; \operatorname{div} \vec{B}_i = 0; \quad (1)$$

$$\vec{B}_i = \mu_i \vec{H}_i; \vec{\sigma}_i = \gamma_i \vec{E}_i; \vec{D}_i = \varepsilon_i \vec{E}_i,$$

где  $\vec{H}_i$  и  $\vec{E}_i$  – векторы напряженности магнитного и электрического полей;  $\vec{\sigma}_i$  – вектор плотности тока;  $\vec{B}_i$  – вектор индукции магнитного поля;  $\vec{D}_i$  – вектор электрического смещения.

Дифференциальные уравнения поля для каждого слоя в установившемся режиме можно разрешить относительно любой из компонент поля (напряженности магнитного  $\vec{H}$  или электрического  $\vec{E}$  полей) [5]. С учетом отмеченного система уравнений (1) сводится к решению дифференциального уравнения:

$$\frac{\gamma_{ri}}{r} \frac{\partial \vec{\Phi}_{im}}{\partial r} + \gamma_{ri} \frac{\partial^2 \vec{\Phi}_{im}}{\partial r^2} + \gamma_{zi} \frac{\partial^2 \vec{\Phi}_{im}}{\partial z^2} - \alpha^2 \vec{\Phi}_{im} = 0; \alpha^2 = j\omega\gamma_{ri}\gamma_{zi}\mu_{\varphi i}, \quad (2)$$

где  $\vec{\Phi}_{im}$  принимает значения векторов плотности тока или напряженностей электромагнитного поля ( $i = 1, 2, 3$ ).

На основе решения уравнения (2) для рассматриваемой модели заземлителя получаем выражения в виде ряда для определения вертикальной  $\vec{\sigma}_{imz}(r, z)$

и радиальной  $\dot{\sigma}_{imr}(r, z)$  составляющих вектора плотности тока. Для определения граничных условий предварительно были установлены зависимости радиального и вертикального токов от соответствующих координат.

Полное решение уравнения (2) представили суммой его частного решения и решения уравнения невязки. В соответствии с отмеченным получили выражения распределения радиальной и вертикальной составляющих вектора плотности тока:

$$\dot{\sigma}_{imr}(r, z) = \dot{\sigma}^*_{imr}(r, z) + \Delta\dot{\sigma}_{imr}(r, z);$$

$$\dot{\sigma}_{imz}(r, z) = \dot{\sigma}^*_{imz}(r, z) + \Delta\dot{\sigma}_{imz}(r, z),$$

где  $\dot{\sigma}^*_{imr}(r, z)$  и  $\dot{\sigma}^*_{imz}(r, z)$  – частные решения уравнения (2) для радиальной и вертикальной составляющих плотности тока;  $\Delta\dot{\sigma}_{imr}(r, z)$  и  $\Delta\dot{\sigma}_{imz}(r, z)$  – величины плотности тока от невязки.

Частное решение уравнения (2) позволяет представить составляющие вектора плотности тока в каждом слое при использовании разложения в ряд Фурье следующими выражениями:

$$\dot{\sigma}^*_{imr}(r, z) = \sum_{k=1}^{\infty} \dot{\sigma}^k_{imr}(0) \cdot e^{P_{ik}z} \cdot J_0\left(\lambda_k \frac{r}{R_3}\right);$$

$$\dot{\sigma}^*_{imz}(r, z) = \gamma_{zi} \frac{h-z}{h} \dot{E}^0_{imz}(0) + \gamma_{zi} \sum_{k=1}^{\infty} \dot{E}^k_{imz}(r) \sin(k\omega_k z).$$

Величины плотности тока от невязки на границах раздела сред для радиальной и вертикальной составляющих вектора плотности тока определяются по следующим выражениям:

$$\Delta\dot{\sigma}_{imr}(r, z) = \sum_{k=1}^{\infty} \Delta\dot{\sigma}^k_{imr}(r) \cos(k\omega_{-z});$$

$$\Delta\dot{\sigma}_{imz}(r, z) = \sum_{k=1}^{\infty} \Delta\dot{\sigma}^k_{imz}(0) e^{P'_{ik}z} J_0\left(\lambda_k \frac{r}{R_i - R_{i-1}}\right).$$

Полученные выражения позволяют проводить расчет распределения радиальной и вертикальной составляющих вектора плотности тока в каждом слое

модели и определять области растекания токов в заземлителе, а также активные и индуктивные параметры заземляющих устройств.

Таким образом, разработанный численный метод расчета электромагнитных параметров уединенного вертикального стержневого заземлителя может быть использованы для решения инженерных задач, связанных с проектированием и комплексной оценкой заземляющих устройств.

#### Литература

1. Правила устройства электроустановок. – М.: Энергоатомиздат, 1987.
2. Бургсдорф В.В., Якобс А.И. Заземляющие устройства электроустановок. – М.: Энергоатомиздат, 1987.
3. Рябкова Е.Я. Заземления в установках высокого напряжения. – М.: Энергия, 1978.
4. Тамм И.Е. Основы теории электричества. – 9-е изд. – М.: Наука, 1976.
5. Поливанов К.М. Теоретические основы электротехники. – Ч. 3. Теория электромагнитного поля. – М.: Энергия, 1969.

### **ОСОБЕННОСТИ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ АГРОГОРОДКОВ**

Герасимович Л.С., ЧУП Институт современных знаний, г. Минск;  
Шульга В.А., Могилевский облисполком, г. Могилев; Шестерень В.Е., УО Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск

В настоящее время в Беларуси осуществляется Программа возрождения и развития села. Одновременно, в связи с ухудшением энергоэкономической обстановки, пристальное внимание уделяется Программе энергобезопасности республики.

Приоритетное развитие получают новые комплексные аграрные образования – агрогородки со специфической компоновкой производственно-хозяйственных и социально-бытовых структур. Одним из главных требований агрогородков является энергоэкономичное, бесперебойное и качественное

обеспечение ТЭР с использованием различных энергоисточников как по видам энергоносителей, так и по их ведомственной принадлежности. А с позиции энергобезопасности необходимо научное обоснование уровня резервирования и длительного совместного использования различных энергоисточников. Таким образом, сформулирована научная проблема комплексного рационального обеспечения потребителей агрогородков электрической и тепловой энергией, различными видами углеводородного топлива и местными энергоресурсами.

Агрогородки как системные образования и потребители энергоресурсов имеют свои особенности и различия, которые существенно влияют на формирование топливно-энергетического баланса агропромышленного сектора и вызывают необходимость разработки научных основ энергообеспечения.

Необходим комплекс информационно-аналитической работы по сбору и систематизации сведений и данных о развитии различных типов агрогородков, современных производственно-технологических процессов, применяемых архитектурно-планировочных решений, структуры бытовых услуг, оказывающих влияние на энергопотребление.

На основе собранной и обработанной информации разрабатывается комплекс энергоэкономических моделей агрогородков.

При разработке моделей необходим учет природно-климатических, социально-экономических и биотехнологических особенностей аграрного производства, транспортных энергокоммуникаций, культурно-бытовых традиций агрогородков, специфических для разных регионов.

Следует отметить, что существующие методики обоснования потребления и рационального использования энергоресурсов практически не учитывают действующих связей аграрных биопродукционных объектов труда, используемых технико-технологических средств производства, природной и антропогенной энергии, в том числе и местных энергоресурсов.

В работе принят системный подход к проблеме энергообеспечения агрогородков. Агрогородок рассматривается как системно-сложный объект админист-

ративного региона республики. С точки зрения потребления энергоресурсов он обладает свойством самоорганизующейся системы, реагирующей на внешние возмущения так, что вызывает существенные изменения в поведении и структуре его энергообеспечивающей подсистемы. Внешними возмущениями являются изменение стоимости энергоносителей, погодноклиматические условия, конъюнктура товарного рынка сельскохозяйственной продукции, техногенные аварии и другие факторы. Отдельные из этих факторов прогнозируемые, а другие возникают в текущем режиме или внезапно.

Решения, связанные с энергообеспечением и энергоменеджментом агрогородков, где размещается комплекс предприятий различных форм собственности, социальнокультурный и бытовой сектор, различные структуры жизнеобеспечения требуют специфических подходов как к обоснованию видов и уровню использования различных энергоресурсов, так и к управлению их рациональным потреблением. В частности, это касается изменения подходов к генерирующим мощностям, в том числе к строительству и совместной эксплуатации собственных энергоисточников; к качеству энергии на границе раздела собственности; к рынку заявок на виды энергии за сутки и более по часам, требующих особой методики прогноза энергопотребления; к учету экономического отношения к компенсации реактивной электрической энергии и мощности; к прогрессивному нормированию, лимитированию и энергопотреблению различных предприятий (производств); к резервированию мощностей энергоисточников и конфигурации энерготранспортных сетей и к другим факторам.

Эти особенности агрогородков требуют современных научных подходов. Так, в части обоснования вида энергоносителей и размещения энергоисточников, нормирования и лимитирования энергопотребления в зависимости от характера энергопотребителей, в работе обоснованы статистические методы структурнотопологической Н-динамики (аппарата гиперболических Н-распределений) и имитационного моделирования, а в управлении комплексным энергообеспечением агрогородков – компьютерные интеллектуальные

системы управления с ПО сбора и обработки текущей информации в режиме «on-line» с оценкой риска принимаемых решений на основе интеллектуальных вычислений.

Научные результаты работы полезны как для проектной практики, так и для организации и управления сложным энергетическим хозяйством агрогородков.

#### Литература

1. Герасимович Л. С. Системный анализ агроэнергетики: курс лекций / Л. С. Герасимович – Минск.: УП «Технопринт», 2003 – 127 с.
2. Кудрин Б. И. Техногенная самоорганизация: монография / Б. И. Кудрин: Вып. 25 «Ценологические исследования». – Москва: Центр системных исследований, 2004. – 248 с.

### **СНИЖЕНИЕ НЕСИНУСОИДАЛЬНОСТИ НАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ С РЕГУЛЯТОРАМИ ЧАСТОТЫ**

Збродыга В. М., Янукович Г. И., Сердешнов А. П.,

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск

Частотное регулирование электроприводов переменного тока позволяет уменьшить расход электроэнергии, повысить КПД и производительность, а также снизить массо-габаритные размеры приводного двигателя. Но при своей работе регуляторы частоты генерируют ряд гармоник напряжений и токов. Для их подавления применяются фильтры высших гармоник. Полной отфильтровки в большинстве случаев достигнуть не удастся – высшие гармоники проникают в распределительную сеть. Поэтому для питания электроустановок с преобразователями частоты предлагается использовать трансформатор со схемой соединения обмоток  $Y/\Delta$  с зигзагом, который способен значительно снижать не-

синусоидальность напряжений по сравнению с другими схемами соединения обмоток трансформатора, что подтверждено экспериментальным путем.

Для сравнительной оценки взяты рекомендованные к применению в сельских электросетях схемы соединения обмоток трансформатора с нулевым проводом  $Y/Y_n$ ,  $\Delta/Y_n$ ,  $Y/Z_n$ , а также схема без нулевого провода  $Y/\Delta$ . Нагрузка трансформатора обеспечивалась трехфазным асинхронным двигателем, подключенным к вторичной обмотке через полупроводниковый регулятор частоты. Частота тока на выходе регулятора изменялась от 10 Гц до 50 Гц при одновременном регулировании напряжения.

Коэффициенты искажения синусоидальности кривых вторичных напряжений для исследованных схем соединения обмоток трансформатора при различной частоте тока на выходе регулятора приведены в таблице.

Таблица - Значения коэффициентов искажения синусоидальности вторичных напряжений при работе трансформатора на нагрузку через полупроводниковый регулятор частоты

Схема соединения обмоток трансформатора	$K_U$ при различной частоте тока на выходе регулятора, %				
	10 Гц	20 Гц	30 Гц	40 Гц	50 Гц
$Y/$ с зигзагом	1,93	1,96	2,07	2,19	2,36
$Y/$	2,52	2,67	2,93	3,36	3,87
$/Y_n$	2,83	2,97	3,31	4,36	5,72
$Y/Y_n$	3,18	3,56	4,12	5,82	8,24
$Y/Z_n$	2,74	2,87	3,22	4,24	5,39

Из таблицы видно, что наименьшее искажение синусоидальности напряжений обеспечивает трансформатор со схемой соединения обмоток  $Y/\Delta$  с зигзагом. Для определения факторов, за счет которых это происходит, проведены исследования спектрального состава его напряжений и установлено, что для схемы соединения обмоток  $Y/\Delta$  с зигзагом характерна практически полная

компенсация гармоник, кратных трем. Присутствует незначительно только третья гармоника, величина которой при изменении частоты тока от 10 Гц до 50 Гц находится в пределах от 0,31 % до 0,41 %, что значительно ниже допустимых значений. Наиболее выражена пятая гармоника – от 1,65 % до 1,99%, седьмая гармоника – от 0,72 % до 0,95 %, одиннадцатая гармоника – от 0,61 % до 0,95 %, тринадцатая гармоника – от 0,39 % до 0,72 %. Незначительно присутствуют другие нечетные гармоники, но их уровни в разы ниже допустимых значений.

В результате исследований доказано, что трансформатор со схемой соединения обмоток Y/Δ с зигзагом обеспечивает в 1,5...3 раза меньшее значение коэффициента искажения синусоидальности напряжений, чем другие исследованные схемы, за счет компенсации высших гармоник. Он может успешно применяться для питания электроустановок с регуляторами частоты.

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ПРИ СКАЧКООБРАЗНЫХ ИЗМЕНЕНИЯХ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ**

Колесник Ю.Н., Иванейчик А.В.

УО «Гомельский государственный технический университет имени П.О.  
Сухого», г. Гомель

Целью исследования является выявление оптимального режима работы предприятия (нахождение оптимального графика нагрузки при заданной производительности), при котором обеспечивается минимум расхода электроэнергии, а также минимум затрат на электроэнергию, в условиях, когда режимы электропотребления изменяются скачкообразно, а расходные характеристики описываются дискретно-непрерывными моделями (рис. 1).

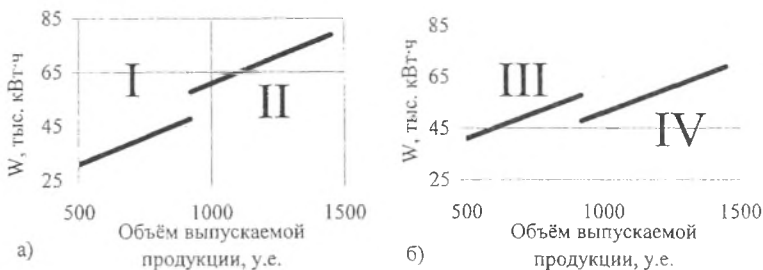


Рисунок 1 – Зависимости расхода электроэнергии от объёмов выпускаемой продукции

Существуют два основных вида дискретно-непрерывных моделей расходных характеристик. На рис. 1.а представлена зависимость расхода электроэнергии от объёмов выпускаемой продукции (назовём её зависимость вида 1), в соответствии с которой, при увеличении объёмов производства, происходит резкий скачок электропотребления и предприятие начинает работать не на характеристике I, а на другой, более энергоёмкой характеристике II. На рис. 1.б представлена зависимость (назовём её зависимостью вида 2), в соответствии с которой, при увеличении объёмов производства, происходит скачкообразное снижение тенденции электропотребления и предприятие начинает работать на другой, более эффективной характеристике IV.

Для решения поставленной задачи была получена модель электропотребления, имеющая следующий вид:

$$W_i = \begin{cases} a_1 \cdot x_i + b_1 & \text{при } V_1 \leq x_i \leq V_2 \\ a_2 \cdot x_i + b_2 & \text{при } V_2 < x_i \leq V_3 \end{cases}, \quad (1)$$

где  $x_i$  – объём выпущенной продукции в  $i$ -м часу;  $a_1, b_1, a_2, b_2$  – коэффициенты линейных функций;  $W_i$  – расход электроэнергии в  $i$ -м часу;  $V_1, V_2, V_3$  – объёмы производства продукции.

Если принять часовые объёмы производства продукции одной смены за  $x_1, x_2, \dots, x_8$ , и учесть, что минимум затрат будет достигаться, если во временной период максимумов нагрузок (примем с 8.00 до 11.00) объём выпускаемой про-

дукции, а следовательно и максимальная потребляемая мощность будут одинаковыми ( $x_1 = x_2 = x_3$ ), то затраты на покупку электроэнергии по двухставочному тарифу при заданном объёме продукции за смену, будут иметь следующий вид:

$$Z = \left[ \begin{matrix} a_1 \cdot x_1 + b_1 \text{ при } V_1 \leq x_1 \leq V_2 \\ a_2 \cdot x_1 + b_2 \text{ при } V_2 < x_1 \leq V_3 \end{matrix} \right] \cdot a + \left[ \sum_{i=1}^8 \begin{matrix} a_1 \cdot x_i + b_1 \text{ при } V_1 \leq x_i \leq V_2 \\ a_2 \cdot x_i + b_2 \text{ при } V_2 < x_i \leq V_3 \end{matrix} \right] \cdot b, \quad (2)$$

При рассмотрении всего вышеизложенного на примере оптимизации графика электрических нагрузок условного предприятия с односменным режимом работы, которое имеет расходную характеристику вида 1 (см. рис. 1.а), были получены следующие результаты, представленные в таблице 1.

Для потребителя с расходной характеристикой вида 2 (см. рис. 1.б), были получены результаты, занесённые в таблицу 2.

Таблица 1 – Результаты оптимизации

Оптимизация	Электропотребление, тыс. кВт·ч	Затраты на электроэнергию, тыс. руб. / %	Стоимость электроэнергии, руб./кВт·ч / %	Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/у.е. / %
Исходный график	487,2 / 100%	130089 / 100%	267 / 100%	60,9 / 100%
По минимуму затрат на электроэнергию	447,2 / 91,8%	99146 / 76,2%	222 / 83,1%	55,9 / 91,8%
По минимуму электропотребления	427,2 / 87,7%	109448 / 84,1%	256 / 95,9%	53,4 / 87,7%
По двум критериям сразу	427,2 / 87,7%	104909 / 84,1%	246 / 92,1 %	53,4 / 87,7%

Таблица 2 – Результаты оптимизации

Оптимизация	Электропотребление, тыс. кВт·ч	Затраты на электроэнергию, тыс. руб. / %	Стоимость электроэнергии, руб./кВт·ч / %	Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/у.е. / %
Исходный график	447,2 / 100%	119408 / 100%	267 / 100%	63,9 / 100%
По минимуму затрат	397,2 / 88,8%	98966 / 82,9%	249 / 93,3%	56,7 / 88,7%
По минимуму электроэнергии	377,2 / 84,3%	101441 / 85,0%	269 / 100,01%	53,9 / 84,4%
По двум критериям сразу	377,2 / 84,3%	101196 / 84,7%	268 / 100,01%	53,9 / 84,4%

Таким образом, формирование оптимальных графиков нагрузки существенно снижает расход и затраты на электроэнергию предприятий с дискретно-непрерывными моделями электропотребления, только лишь за счёт перераспределения режимов производства, что возможно, как правило, без существенных денежных вложений.

## ТЕРМОЛАБИЛЬНОСТЬ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗЕРНА ЗЛАКОВ

Корко В.С.,

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск

Модель вещества зерна можно упрощено представить как матрицу из пористого материала, содержащую в порах влагу. Матрица, в свою очередь, обладает сложной структурой и ярко выраженными гидрофильными свойствами. При этом считают, что в пределах гигроскопического влагосодержания вся вода в веществе злаков связана физико-химически. С точки зрения электрофизических характеристик в таком виде связанная влага сообщает веществу новые свойства, повышая его электрическую проводимость. Приближенный расчет проводимости вещества может быть проведен по формуле Френкеля для ионных проводников:

$$\gamma = \frac{n_0 q^2 \delta^2 \nu}{6kT} e^{-\frac{U_0}{kT}} = A e^{-\frac{U_0}{kT}}, \quad (1)$$

где  $n_0$  – концентрация свободных ионов,  $\text{м}^{-3}$ ;  $q$  – заряд иона, Кл;  $\delta$  – длина свободного пробега иона, м;  $\nu$  – частота собственных колебаний иона,  $\text{с}^{-1}$ ;  $k$  – постоянная Больцмана, Дж/К;  $T$  – температура среды, К;  $U_0$  – энергия активации, Дж;  $A$  – постоянная величина, существенно не зависящая от температуры, так как ее влияние практически не сказывается на величине предэкспоненциального множителя, а проявляется через показатель степени.

При изменении электропроводности в широком интервале температур зависимость  $\lg \gamma = f(1/T)$  для ионных проводников обычно представляется прямой, по наклону которой определяется величина энергии активации. Однако у ряда кристаллов и, можно предполагать, что у крахмалосодержащих материалов на этих зависимостях имеется излом, связанный с фазовым переходом. В этом случае справедлива следующая формула:

$$\gamma = A_1 e^{-\frac{E_1}{kT}} + A_2 e^{-\frac{E_2}{kT}}. \quad (2)$$

Таким образом, точка излома зависимости  $\lg \gamma = f(1/T)$  является критической точкой, в которой изменяется величина энергии активации. Как установлено, для крахмалосодержащих веществ фазовый переход осуществляется в температурной зоне клейстеризации крахмала или, как принято говорить, в точке клейстеризации.

Экспериментально полученные температурные характеристики проводимости вещества зерна при изменении температуры от 293 до 363 К в диапазоне 16...29% влажности имеют экспоненциальный вид, что подтверждается при построении в полулогарифмических координатах. При влажности до 20% зависимости  $\lg \gamma = f(1/T)$  имеют линейный вид. С ростом влажности при температуре  $T > 323$  К наблюдается излом, т.е. зависимости распадаются на 2 линейных участка: (а) – до 323 К и (б) – после 323 К.

Например, температурная характеристика проводимости вещества зерна при влажности 16% описывается уравнением  $\gamma = 0,3 \cdot 10^{-3} e^{0,09T-30}$ , а при влажности 29% на участке (а)  $\gamma_{(a)} = 2,8 \cdot 10^{-3} e^{0,118T-34,6}$ , на участке (б)  $\gamma_{(б)} = 0,1 e^{0,035T-11,3}$ . Отсюда следует важный вывод о взаимосвязи изменения электрофизических и структурно-механических свойств вещества зерна. При фиксированных параметрах системы точка перегиба зависимости  $\lg \gamma = f(1/T)$  будет определять температуру клейстеризации крахмала и соответствующее значение проводимости  $\gamma$ .

В условиях технологии электрогидротермической обработки плющенное зерно смешивают с раствором химических веществ (поваренной соли, карбамида) и помещают в электродную камеру. Подготовленная к обработке влажная масса представляет собой сложную дисперсную проводящую систему, в которой раствор химических веществ содержится в связанном виде в порах вещества зерна и в набухших органических составляющих (крахмале, белке), а также в свободном виде между частицами.

Проводимость влажной зерновой массы зависит от ряда определяющих параметров: температуры, степени измельчения (плющения) зерна, усилия уплотнения, модуля увлажнения, напряженности электрического поля. Обобщенная температурная характеристика проводимости аппроксимируется выражением

$$\gamma = \gamma_n (1 + \alpha \theta + \beta \theta^2), \quad (3)$$

где  $\gamma_n$  - удельная проводимость зерновой массы при начальной температуре,  $\gamma_n = 0,27 \text{ См/м}$ ;  $\alpha$  и  $\beta$  - температурные коэффициенты проводимости, соответственно имеющие значения:  $\alpha = 3,7 \times 10^{-2} (^\circ\text{C})^{-1}$ ;  $\beta = -2,78 \times 10^{-4} (^\circ\text{C})^{-2}$ ;  $\theta$  - превышение температуры массы над начальной,  $^\circ\text{C}$ .

Явно выраженная нелинейность характеристики и уменьшение проводимости зерновой массы при высоких температурах ( $80 \dots 100^\circ\text{C}$ ) связаны с перераспределением форм связи влаги и происходящими при обработке структурными преобразованиями органических веществ (клеястеризацией крахмала, денатурацией белков и др.).

Теоретические и экспериментальные исследования подтверждают и расширяют существующие представления о проводимости ионных материалов. Термолабильность электрофизических характеристик зерна злаков в различных состояниях является важным информативным и определяющим фактором, который необходимо учитывать при анализе и синтезе влагометрических, электротехнологических и других устройств, разработке автоматизированных систем управления.

## **АНАЛИЗ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЕЙ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

Королевич Н. Г., Янукович Г. И.,

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск

Важнейшей составляющей экономики Республики Беларусь является топливно-энергетический комплекс, который включает системы добычи, транспортировки, хранения, производства и распределения всех видов энергоносителей: газа, нефти и продуктов ее переработки, твердых видов топлива, электрической и тепловой энергии. Ядром топливно-энергетического комплекса является электроэнергетика.

Энергосистема Беларуси представляет собой вертикально интегрированную компанию, в которой энергетическое производство не разделено по видам деятельности – по производству, передаче и распределению энергии. Энергетическая система – это сложный комплекс, включающий электростанции, котельные, электрические и тепловые сети, которые связаны общностью режима их работы на территории всей республики.

Управляет Белорусской энергосистемой государственное производственное объединение (ГПО) «Белэнерго», которое подчинено Министерству энергетики.

ГПО «Белэнерго» с начала 2007 года является правопреемником Белорусского государственного энергетического концерна, созданного в 1995 году в ходе структурных преобразований народного хозяйства республики для осуществления функций управления хозяйственной деятельностью электроэнергетического комплекса Республики Беларусь, а также деятельности по следующим направлениям:

- производство, передача и распределение электрической и тепловой энергии;
- поддержание в надлежащем состоянии электростанций, а также электрических и тепловых сетей;

- оперативно-диспетчерское управление технологическим процессом производства и поставок электроэнергии;

- технический надзор за состоянием электростанций и сетевых объектов Белорусской энергосистемы;

- организация работ, обеспечивающих сбалансированное развитие энергосистемы (в том числе прогнозирование спроса на энергию, проектирование, инвестирование, строительство энергетических объектов).

Общая установленная мощность электростанций энергосистемы по состоянию на 1 января 2007 года составила 7913,8 МВт, в которой наибольший удельный вес занимают тепловые электростанции – 97,5 %. Кроме тепловых электростанций в энергосистеме работают 26 малых гидроэлектростанций установленной мощностью 12,2 МВт (0,2 % от общей мощности энергосистемы) и блок-станции промышленных предприятий установленной мощностью 182,8 МВт (2,3%). Общая протяженность высоковольтных (35-750 кВ) линий электропередач составляет более 35 тыс.км. В 2006 году было произведено около 31 млрд. кВт·ч, что составляет 88% от потребности, 5,48 млрд. кВт·ч электроэнергии было импортировано. ГПО «Белэнерго» способно полностью обеспечить потребности республики в электрической энергии и на 50% в тепловой. В качестве ресурсов первичной энергии государственное производственное объединение использует в основном два вида топлива: природный газ (95%) и мазут.

Энергосистема Республики Беларусь включает 6 (по числу областей) самостоятельных республиканских унитарных предприятий (РУПов): «Брестэнерго», «Витебскэнерго», «Гомельэнерго», «Гродноэнерго», «Минскэнерго», «Могилевэнерго». Она имеет электрические связи между областными объединениями и энергосистемами сопредельных государств (России, Украины, Литвы, Польши). Кроме того, в состав ГПО «Белэнерго» входят строительномонтажный комплекс, ряд заводов, ремонтно-наладочные предприятия, выполняющие, в основном, работы для предприятий энергетики.

Обеспеченность установленными энергетическими мощностями областей Республики Беларусь представлена в таблице 1.

Таблица 1

Основные показатели энергообеспеченности Республики Беларусь по областям

Показатели	По Республике Беларусь	Области					
		Брестская	Витебская	Гомельская	Гродненская	Минская	Могилевская
Установленная мощность тепловых электростанций РУП ГПО «Белэнерго», МВт	7718,8	1105	3093,1	956	192,5	1814	558,2
Приходится установленной мощности электростанций на единицу площадей, МВт/млн. га:							
• общего земельного фонда;	371,8	336,9	780,0	236,6	76,7	444,6	191,8
• сельхозугодий;	871,2	774,2	495,5	692,4	151,9	971,6	416,2
• пашни.	1405,4	1377,3	3403,1	1174,4	229,7	1417,4	657,5
Приходится установленной мощности электростанций на 1 миллион человек, МВт/млн.чел:							
• всего населения;	792,0	764,4	2389,0	643,7	171,3	557,3	487,1
• сельского населения;	2867,4	2084,5	8167,7	2205,8	508,1	2701,8	1866,7
• трудовых ресурсов.	1242,9	1254,5	3830,1	1035,8	280,5	828,5	772,7

Как видно из таблицы, наиболее обеспеченными установленными энергетическими мощностями электростанций являются Витебская и Минская области.

Так, в данных областях на 1 миллион гектаров общего земельного фонда приходится 780 МВт и 444,6 МВт соответственно, что в 2 и в 1,1 раз больше, чем в среднем по республике.

Витебщина – высокоразвитый индустриальный регион Беларуси. Производством и распределением электроэнергии в данной области занимается РУП «Витебскэнерго», в состав которого входят такие структурные единицы как Лукомльская и Белорусская ГРЭС, Новополоцкая, Витебская и Оршанская ТЭЦ, Витебские тепловые сети, Витебские, Полоцкие, Оршанские и Глубокские

электрические сети. Установленная электрическая мощность электростанций – 3093,1 МВт.

Витебская область практически по всем показателям энергообеспеченности установленными мощностями тепловых электростанций в нашей республике занимает первое место. Так, на каждого жителя Витебщины приходится 2389 МВт, что в 3 раза больше, чем в среднем по республике. Сельское население и площадь пашни также в 3 раза лучше обеспечено установленными мощностями. Тем не менее, в структуре полезного отпуска по группам потребителей электрической энергии в общем объеме отпуска «Витебскэнерго» производственные нужды сельхозпотребителей составляют 5,1 %, что соответствует лишь четвертому месту в ГПО «Белэнерго» после «Гродноэнерго», «Брестэнерго» и «Могилевэнерго» (таблица 2).

Самой крупной тепловой электростанцией, как в Витебской области, так и в Белоруссии, является Лукомльская ГРЭС. Станция расположена близ города Новолукомль. Строительство было начато в 1964 году, а пуск первого энергоблока состоялся в 1969 году. Установленная мощность станции 2412 МВт (8 энергоблоков по 300 МВт каждый), что соответствует 30,8 % установленной мощности энергосистемы Республики Беларусь.

Лукомльская ГРЭС вырабатывает до 50 %, а летом 2006 года и до 60 %, всей потребляемой в стране электроэнергии. В период эксплуатации электростанции выполнен комплекс научно-технических мероприятий по улучшению экономичности и надежности работы генерирующего оборудования. В результате расход условного топлива на отпущенную электроэнергию за период с 1975 по 2005 год снизился на 11 г у.т./кВт·ч. За январь-апрель 2007 года фактический удельный расход топлива на отпуск электроэнергии на станции составил 309,5 г у.т./кВт·ч (за четыре месяца 2006 года – 315,8 г) при средней электрической нагрузке энергоблоков 219 МВт.

Сегодня Лукомльская ГРЭС остается одной из самых надежных и экономичных конденсационных электростанций Беларуси.

Структура полезного отпуска по группам потребителей электрической энергии по РУП ГПО «Белэнерго», %

(отчет 2006 г.)

Наименование групп потребителей	РУПы						
	ГПО «Белэнерго»	«Брестэнерго»	«Витебскэнерго»	«Гомельэнерго»	«Гродноэнерго»	«Минскэнерго»	«Могилевэнерго»
1. Промышленные и приравненные к ним потребители с присоединенной мощностью 750 кВА и выше	53,4	35,8	58,6	68,8	54,3	46,8	56,3
2. Промышленные и приравненные к ним с присоединенной мощностью до 750 кВА	8,1	10,5	8,1	5,0	9,8	6,9	8,1
3. Электрифицированный железнодорожный транспорт	1,1	2,0	1,5	0	0,01	2,9	0,2
4. Электрифицированный городской транспорт	0,8	0,3	0,6	0,5	0,6	2,4	0,7
5. Непромышленные потребители	11,8	17,7	10,1	8,6	9,3	14,5	10,6
6. Электроэнергия для нужд отопления и горячего водоснабжения	0,3	0,6	0,4	0,2	0,4	0,3	0,2
7. Производственные нужды сельхозпотребителей	5,8	7,9	5,1	3,8	8,1	4,5	5,6
8. Население – всего:	18,5	25,2	15,4	12,8	17,4	21,5	18,7
- городское;	12,1	17,8	11,7	9,9	12,7	18,3	14,4
- сельское	4,4	7,4	3,7	2,9	4,7	3,2	4,3
9. Хозяйственные нужды энергосистемы	0,2	0,2	0,7	0,1	0,1	0,08	0,1
Всего, млн. кВт·ч	28746	28772	4093,7	5689	3155,6	9884,7	3045,8

Второй в Республике по обеспеченности установленными энергетическими мощностями является Минская область. В настоящее время – это одна из наиболее экономических развитых областей Беларуси.

Чрезвычайно выгодное географическое положение, наличие природно-ресурсного потенциала – определяющие факторы социально-экономического развития области. Электроснабжение данного региона обеспечивает РУП «Минскэнерго», в состав которого входят: Минская ТЭЦ-4, Минская ТЭЦ-3,

Жодинская ТЭЦ, Дирекция строящейся Минской ТЭЦ-5, Минские тепловые сети, Борисовские, Минские, Молодечненские, Слуцкие и Столбцовские электрические сети, Минские кабельные сети. Установленная электрическая мощность объединения – 1814 МВт. Протяженность тепловых сетей – 2339,5 км. Протяженность электрических сетей – 57,6 тыс. км.

На 1 миллион гектаров земельных площадей Минской области приходится 444,6 МВт установленной мощности электростанций, что в 1,1 раза превышает средний уровень обеспеченности по республике, однако в 1,75 раза меньше, чем в Витебской области. Необходимо отметить очень высокий уровень энергообеспеченности сельскохозяйственных земель – 971,6 МВт/млн.га, что на 12 % превышает среднереспубликанский уровень и в 2 раза – уровень Витебской области. Таким образом, в общем объеме отпуска электроэнергии на производственные нужды сельхозпотребителей ГПО «Белэнерго» удельный вес «Минскэнерго» занимает лидирующую позицию – 29,4 % в 2006 году (таблица 3).

Таблица 3

Динамика полезного отпуска электроэнергии на производственные нужды сельхозпотребителей Республики Беларусь

Областные РУПы ГПО «Белэнерго»	2005г.		2006г.		2007г. (ожидаемый)		2008г. (прогноз)	
	млн. кВт·ч	% к итогу	млн. кВт·ч	% к итогу	млн. кВт·ч	% к итогу	млн. кВт·ч	% к итогу
«Брестэнерго»	213,7	15,2	227,6	14,9	218,7	14,9	220,1	14,8
«Витебскэнерго»	206,6	14,7	207,5	13,6	201,9	13,7	202,4	13,6
«Гомельэнерго»	199,6	14,3	214,3	14,1	210,2	14,3	215,2	14,4
«Гродноэнерго»	246,8	17,6	256,6	16,8	233,9	15,9	244,0	16,4
«Минскэнерго»	375,9	26,8	447,3	29,4	444,6	30,2	447,0	29,9
«Могилевэнерго»	159,8	11,4	169,8	11,2	162,0	11,0	162,1	10,9
Итого по концерну:	1402,4	100	1523,1	100	1471,3	100	1490,8	100

Такое положение вызвано еще и тем, что помимо высокого уровня энергообеспеченности земельных площадей сельскохозяйственные угодья Минской области занимают 21 % от всех сельхозугодий Республики.

Самой мощной тепловой электростанцией РУП «Минскэнерго», а также одной из крупнейших не только в СНГ, но и в Европе, является Минская ТЭЦ-4. Установленная электрическая мощность Минской ТЭЦ-4 составляет 1035 МВт, а тепловая – 1519 Гкал/час. На ней вырабатывается ежегодно около 15 % электроэнергии, производимой в Беларуси и примерно такое же количество от общего производства ГПО «Белэнерго» тепловой энергии.

Работа по экономии топливно-энергетических ресурсов является приоритетным направлением в деятельности коллектива электростанции. Основными мероприятиями, реализуемыми на Минской ТЭЦ-4, являются оптимизация состава и режимов работы основного и вспомогательного оборудования, а также внедрение регулируемых электроприводов на насосном и вентиляторном оборудовании. Общий эффект от внедрения за последние 10 лет данных и других мероприятий состоит в том, что на Минской ТЭЦ-4 удельный расход топлива на отпуск электрической энергии снизился до 200 г у.т./кВт·ч, а на отпуск тепловой энергии – до 168,84 кг/Гкал, что является одним из лучших показателей в энергетической отрасли СНГ. В настоящее время на Минской ТЭЦ-4 реализуется еще одно высокоэффективное энергосберегающее мероприятие – вводится в эксплуатацию утилизационная детандерная энергетическая установка (УДЭУ), т.е. в специальной турбине происходит снижение давления газа с 12 ата до 0,8-1,0 ата, а высвобождающаяся кинетическая энергия превращается в электрическую.

По предварительным данным, удельные расходы топлива на отпущенную от УДЭУ электроэнергию находятся в интервале 120-140 г у.т./кВт·ч, что на 65 % экономичнее, чем у замещающей Конденсационной электрической станции (например, Лукомльской ГРЭС).

Третьей по обеспеченности установленными энергетическими мощностями в республике является Брестская область. Общая установочная мощность тепловых

электростанций РУП «Брестэнерго» составляет 1105 МВт. К ним относятся Березовская ГРЭС, Брестская ТЭЦ, Барановичская ТЭЦ, Пинская ТЭЦ и Западная МТЭЦ г. Пинска.

Энергообеспеченность земельного фонда в Брестской области составляет 336,9 МВт/млн.га, что соответствует 91 % от среднего общереспубликанского уровня. Пашня и сельхозугодья в данном регионе обеспечены установленными энергетическими мощностями «Брестэнерго» соответственно 1377,3 и 774,2 МВт/млн.га. При этом в структуре полезного отпуска по группам потребителей электрической энергии по РУП «Брестэнерго» отпуск на производственные нужды сельхозпотребителей занимает почти 8 % (в РУП «Гродноэнерго» – 8,1 %), а в общем объеме отпуска электроэнергии на производственные нужды сельхозпотребителей ГПО «Белэнерго» удельный вес «Брестэнерго» занимает 14,9 % (в 2006 году).

Наиболее мощной в данном регионе является Березовская ГРЭС – 1060 МВт, которая является первой в стране блочной тепловой электростанцией. Березовская ГРЭС построена в 1961-1967 годах. Она является энергетической базой для развития промышленности и аграрного комплекса в западных областях Беларуси. За весь период работы Березовской ГРЭС РУП «Брестэнерго» выработано более 174,0 млрд. кВт·ч электрической энергии. Этой энергии достаточно для обеспечения потребности Беларуси в течение более пяти лет.

С 1994 года производство электроэнергии по Березовской ГРЭС РУП «Брестэнерго» резко сократилось в силу более высоких топливных затрат и в конечном итоге более высокой себестоимости, чем на других электростанциях Беларуси и за ее пределами. Это привело к необходимости в модернизации энергоблоков. Реконструкция энергоблоков – это уникальный проект, предусматривающий надстройку на существующую паросиловую установку двух газовых турбин по 25 МВт каждая. При этом за счет газовых турбин повышается мощность энергоблока, а также его тепловая экономичность. К настоящему моменту уже модернизированы энергоблоки № 4 и № 3. За время эксплуатации реконструируемого блока № 4 удельный расход условного топлива снижен с 374,7 г у.т./кВт·ч (до реконст-

рукции 2002 г.) до 331 г у.т./кВт·ч, что привело к экономии топлива 68,5 тыс. т у.т. Реконструкция блока № 3 даст увеличение мощности блока со 150 МВт до 215 МВт, а также годовой выработки электроэнергии с 303,15 до 1204 млн. кВт·ч. Проектная годовая экономия топлива составит 80 тыс. т у.т., удельный расход условного топлива снизится с 389,1 до 307 г у.т./кВт·ч. Тем не менее, в настоящее время удельный расход условного топлива на отпуск электрической энергии на РУП «Брестэнерго» продолжают оставаться самым высоким в республике.

Четвертую позицию по объемам установленных энергетических мощностей республиканского производственного объединения занимает РУП «Гомельэнерго» – 956 МВт. Это позволяет обеспечивать земельный фонд Гомельской области в размере 236,6 МВт/млн.га (63,6 % от среднего общереспубликанского уровня), а в расчете на 1 млн. га сельхозугодий и пашни – 692,4 и 1174,4 МВт (79,5 % и 83,6 % соответственно). На 1 миллион человек сельского населения приходится 2205,8 МВт тепловых электростанций, что соответствует 77 % от общереспубликанского уровня (третье место по Беларуси). Однако в структуре полезного отпуска по группам потребителей электрической энергии по РУП «Гомельэнерго» производственные нужды сельхозпотребителей занимают самый низкий удельный вес (3,8 %) среди остальных областных РУПов.

Самой крупной электростанцией в данном регионе является Гомельская ТЭЦ-2 мощностью 540 МВт, оборудование которой в результате 75-летней эксплуатации уже давно отработало свой ресурс и требует модернизации. В результате, разработано технико-экономическое обоснование, предусматривающее не только модернизацию оборудования, но и установку турбодетандерного агрегата единичной мощностью 6 МВт. Это позволит станции обеспечить население тепловой мощностью более 250 Гкал в час.

Могилевскую область, самый восточный регион Беларуси, снабжает электроэнергией РУП «Могилевэнерго» установленной мощностью 558,2 МВт. Данная мощность в расчете на 1 млн.га площадей от общереспубликанского уровня составляет: общего земельного фонда области –52 %; сельхозугодий – 48 %; пашни

– 47 %. В расчете на 1 миллион человек сельского населения – 65 % от среднего общереспубликанского уровня.

В структуре полезного отпуска по группам потребителей электрической энергии по РУП «Могилевэнерго» удельный вес производственных нужд сельхозпроизводителей занимает 5,6 %, что соответствует третьему месту по республике после РУП «Гродноэнерго» и РУП «Брестэнерго» (8,1 % и 7,9 %).

Наименьший уровень обеспеченности установленными энергетическими мощностями в Гродненской области. Мощность всего РУП «Гродноэнерго» составляет 192,5 МВт, что в 12,5 раз меньше, чем только одной электростанции в Витебской области (Лукомльской ГРЭС). Удельный вес полезного отпуска электроэнергии на производственные нужды сельскохозяйственным потребителям во всей структуре полезного отпуска по «Гродноэнерго» занимает 8,1 %, что соответствует наивысшему уровню по республике. Однако удельный расход условного топлива на отпуск электрической энергии в данном регионе самый низкий по республике – 187 г/кВт·ч.

Таким образом, анализ электрообеспеченности областей республики показывает, что в наиболее худшем положении находятся Гродненская и Могилевская области.

Установленной мощности на душу населения в Гродненской области приходится в 19,3 раза меньше, чем в Витебской, а на душу сельского населения – в 16 раз. В Могилевской области – соответственно в 4,9 и 4,4 раза. Потребление электроэнергии на душу населения по областям незначительно отличается. Так, в Гродненской области оно составляет 3390 кВт·ч, Могилевской – 3342 кВт·ч, Витебской – 4335 кВт·ч, наименьшее потребление электроэнергии в Брестской области – 2540 кВт·ч на душу населения.

Такая же картина и по распределению установленной мощности электростанций на единицу площадей общего земельного фонда, сельхозугодий и пашни. Так, в Гродненской области на 1 миллион гектаров пашни приходится в 14,8 раза, а в Могилевской – в 5,2 раза меньше установленной мощности, чем в Витебской области.

Анализируя динамику полезного отпуска электроэнергии на производственные нужды сельхозпотребителей Республики Беларусь по ГПО «Белэнерго», необходимо отметить тенденцию увеличения отпуска данной группе потребителей. Так, в 2005 г. полезный отпуск электроэнергии на производственные нужды сельхозпотребителей составил 1402,4 млн. кВт·ч, а в 2006 г. – 1523,1 млн. кВт·ч, то есть на 9 % больше. При этом наибольший рост произошел в Минской области (19 %), а наименьший – в Витебской (0,4 %). Прогнозные же показатели отпуска электроэнергии снижаются: в 2007 году на 3,4 % ниже, чем в 2006 г. Это связано с намеченной Республиканской программой энергосбережения на 2006-2010 годы при одновременном сокращении энергоемкости продукции, а также с Директивой Президента Республики Беларусь № 3 об экономии и бережливости. Так, за счет реализации Программы энергосбережения экономия топлива в 2006 году в ГПО «Белэнерго» составила 257,4 тыс.т у.т., что соответствует 102,9 % к заданию.

Учитывая, что потребление электроэнергии по областям отличается незначительно, а установленной мощности электростанций в Гродненской и Могилевской областях недостаточно, электроэнергию в эти регионы приходится перераспределять из других областей республики. Такая ситуация вызывает дополнительные потери электроэнергии в электрических сетях. С целью их снижения необходимо строительство новых электростанций или увеличение существующих мощностей в Гродненской и Могилевской областях.

#### Литература:

1. Сведения о структуре полезного отпуска по группам потребителей электрической энергии по республиканским унитарным предприятиям из отдела сбыта электроэнергии концерна «Белэнерго» за 2005-2007 гг.
2. Краткие итоги производственно-финансовой деятельности ГПО «Белэнерго» за 2006 г.
3. Статистический ежегодник Республики Беларусь / Министерство статистики и анализа Республики Беларусь. – Мн., 2006.

## О РАЗВИТИИ ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ В АПК

Русан В.И.

УО Белорусский государственный аграрный технический университет, г.

Минск

В АПК республики в настоящее время сложилось крайне неудовлетворительное энерготехническое обеспечение: низкая энерговооруженность труда и надежность энергообеспечения потребителей, высокие удельный вес (до 60%) энергоресурсов в стоимости продукции и ее энергоемкость (в 3-4 раза выше развитых стран). В результате этого сельскохозяйственная продукция становится неконкурентоспособной на мировом рынке.

В хозяйствах эксплуатируется свыше 70% энергооборудования с послемортизационными сроками службы, состояние энергетического оборудования остается неудовлетворительным, его парк практически не обновляется, ухудшилось качество поставляемой электрической энергии, отмечается значительное количество аварийных и внеплановых отключений сельскохозяйственных потребителей. Более 50% потребителей второй категории по надежности электроснабжения не имеет резервных источников. В результате наблюдается значительное количество случаев нерационального использования электрической и тепловой энергии, электропоражения людей, животных и возникновения пожаров, что наносит огромный ущерб народному хозяйству.

В отрасли намечается самый высокий электротравматизм по сравнению с другими отраслями народного хозяйства республики. За последние годы резко снизился уровень эксплуатации электроустановок потребителей сельскохозяйственной отрасли, укомплектованность энергослужб персоналом по нормативной численности постоянно падает, уровень подготовки электротехнического персонала не отвечает требованиям ПТЭ и ПТБ. Отраслевая наука практически не занимается проблемами технического сервиса энергетического оборудования.

Особенно остро стоит вопрос организации ремонта энергетического оборудования. В среднем по сельскому хозяйству ежегодно ремонтируется около 200 тыс. электродвигателей или до 15% от находящихся в эксплуатации. При этом затраты на обслуживание и ремонты, например, электродвигателя примерно в 3 раза превышают его стоимость (за нормативный срок службы). Затраты на ремонт превышают стоимость выпуска новых двигателей, а численность работающих на обслуживающих и ремонтных предприятиях превышает численность электромашиностроителей, занятых выпуском электродвигателей, в 5-6 раз.

Следует также отметить дефицит специалистов энергетиков: обеспеченность хозяйств составляет около 35%.

Для быстрого и радикального изменения сложившегося положения в АПК необходимо создать энергетическую службу на всех уровнях, модернизировать и создать производственную базу для промышленного изготовления энергетического оборудования для хозяйств различных размеров и профиля.

Снижение эксплуатационной надежности и эффективности использования энергетического оборудования обусловлено в определенной степени неудовлетворительным состоянием системы технического сервиса энергоустановок.

Перспективные направления решения этой проблемы следующие:

- совершенствование существующих систем планово-предупредительного ремонта и технического обслуживания электрооборудования в сельском хозяйстве и технического обслуживания и ремонта теплотехнического оборудования;
- оптимизация материально-технической базы и размещения сети предприятий и производств технического сервиса энергетического оборудования в АПК с различной формой собственности;
- использование стратегии обслуживания по фактическому состоянию оборудования (по параметру) на основе методов технической диагностики с применением средств автоматизации и микропроцессорной техники;
- разработка системы обслуживания энергетического оборудования

предприятиями-изготовителями и эксплуатирующими подразделениями АПК (фирменный сервис);

- разработка прогрессивных технологий и эталонных моделей технологических процессов производства работ с целью обеспечения надежности и эффективности функционирования энергооборудования;
- разработка новых форм и методов инженерно-технического обеспечения и современных взаимоотношений аграрных товаропроизводителей, изготовителей машин и исполнителей технического сервиса;
- разработка научных основ эффективного использования энергетического оборудования и рационального использования ТЭР;
- экологическое обеспечение технического сервиса в АПК, включая комплекс методов и средств, обеспечивающих значительное снижение вредных воздействий ремонтно-обслуживающего производства на окружающую среду.

В связи с изложенным и с целью повышения эффективности использования энергетического оборудования в АПК необходимо решить следующие основные задачи:

1. Возродить единую энергетическую службу Агрпромэнерго в АПК на всех уровнях.
2. Доработать, издать и внедрить разработанную в бывшем Институте энергетики АПК НАН Беларуси новую систему ППРЭ с.х.
3. Разработать нормативно-техническую документацию по эксплуатации энергетического оборудования в АПК, и организовать информационное обеспечение энергетических служб АПК.
4. Организовать НИР и внедрение их результатов в производство, а также подготовку научных кадров и повышение квалификации специалистов по проблемам технического сервиса энергооборудования в АПК.
5. Организовать в БГАТУ подготовку и повышение квалификации специалистов по энергетическому сервису, а также по менеджменту и маркетингу в энергетике АПК.

6. Разработать новые технологии и средства технической диагностики энергетического оборудования в АПК.

7. Создать энергетический полигон современного энергосберегающего оборудования и энергосберегающих технологий, в т.ч. с использованием местных видов топлива и возобновляемых источников энергии в п. Боровляны.

Решение данных проблем позволит обеспечить энергетическую безопасность и надежную эксплуатацию энергетического оборудования, повысить эффективность его использования, снизить энергоемкость производимой сельхозпродукции и повысить ее конкурентноспособность на мировом рынке, а также улучшить качество подготовки высококвалифицированных специалистов для выполнения Государственной программы возрождения и развития села на 2005-2010 г.г.

## **ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ОТКЛЮЧЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ АПК ПРИ ПОВРЕЖДЕНИИ ЭЛЕМЕНТОВ СХЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

Русан В.И., УО Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск;

Пухальская О.Ю., Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого, г. Гомель

Важной задачей в повышении надежности электроснабжения потребителей является снижение количества и длительности их отключений. К сожалению, в настоящее время надежность, особенно воздушных электрических сетей напряжением 6-10 кВ сельскохозяйственного назначения, в большинстве случаев не отвечает необходимым требованиям. Следует отметить, что в сетях напряжением 110 кВ и выше вопросам повышения надежности уделяется более серьезное внимание, поскольку их отключения приводят к перерыву электроснабжения значительного количества потребителей. Надежность сетей 6 – 10 кВ и тем более 0,38 кВ находится на довольно низком уровне, хотя они имеют

большую протяженность и являются основным звеном в цепи электроснабжения потребителей.

В [1] приведены нормативные уровни надежности электроснабжения потребителей АПК I, II и III категорий, а также некоторые мероприятия по их обеспечению. Однако в них отсутствует методика оценки уровня надежности существующей схемы электроснабжения потребителей.

В [2] была предложена методика определения расчетного количества внезапных отключений потребителей сельскохозяйственного назначения по цепи "источник – потребитель". В этой работе рассматриваются основные положения методики расчета продолжительности отключения потребителей АПК при повреждении элементов схемы электроснабжения.

Расчет вероятной продолжительности отключения потребителя по каждому элементу цепи "источник питания – потребитель" должен выполняться на основании моделирования действий оперативного и ремонтного персонала районов и предприятий электрических сетей.

Модели должны достаточно полно учитывать местные условия оперативно-обслуживания подстанции (ПС) 35(110) кВ: наличие дежурных на ПС, места дислокации оперативно-выездных бригад (ОВБ) и зоны их обслуживания, расстояния между ПС, наличие устройств противоаварийной автоматики и т. д.

Средняя продолжительность одного внезапного отключения потребителя является одним из основных (нормативных) показателей надежности его электроснабжения. Значение этого показателя определяется как среднее исходя из числа повреждений основных элементов цепи "источник – потребитель", рассмотренных в [2] и соответствующих им длительностей отключений по формуле:

$$\tau = \frac{N_{влв} \cdot \tau_{влв} + N_{пс} \cdot \tau_{пс} + N_{пс10} \cdot \tau_{пс10} + N_{10} \cdot \tau_{10} + N_{тп} \cdot \tau_{тп} + N_{влп} \cdot \tau_{влп}}{N_{\Sigma}}, \quad (1)$$

где через  $\tau$  обозначены средние продолжительности внезапных отключений потребителя при повреждении соответственно:

$\tau_{ВЛВ}$  – на ВЛ 35(110) кВ и в РУ 35(110) кВ присоединенных к ВЛ подстанций 35(110) кВ;

$\tau_{ПС}$  – в трансформаторе 35(110)/10 кВ подстанции (ПС) и в тех элементах его присоединения, повреждения которых не приводят к отключению ВЛ 35(110) кВ;

$\tau_{РС10}$  – в РУ 10 кВ подстанции 35(110) кВ;

$\tau_{10}$  – на ВЛ 10 кВ;

$\tau_{ТП}$  – на тех элементах оборудования ТП 10/0,4 кВ, повреждения которых не приводят к отключению ВЛ 10 кВ;

$\tau_{ВЛН}$  – на ВЛ 0,38 кВ, питающей рассматриваемого потребителя;

$N_{ВЛВ}, N_{ПС}, N_{РС10}, N_{10}, N_{ТП}, N_{ВЛН}$  – количество внезапных отключений потребителя из-за повреждений соответственно на ЛЭП-35(110) кВ и в РУ 35(110) кВ, присоединенных к ней подстанций; в трансформаторе питающей потребителя подстанции 35(110)/10 кВ и в ее РУ 10 кВ; на питающей потребителя ВЛ 10 кВ; в ТП 10/0,4 кВ, к которой подключен потребитель; на питающей потребителя линии 0,38 кВ;

$N_{\Sigma}$  – количество внезапных отключений потребителя за год.

При расчете  $\tau_{ВЛВ}$  учитывается, что рассматриваемые повреждения в РУ 35(110) кВ подстанций, приводящие к отключению ЛЭП 35(110) кВ весьма редки по сравнению с повреждениями ВЛ 35(110) кВ, поэтому величина  $\tau_{ВЛВ}$  определяется как продолжительность отключения ВЛ 35(110) кВ.  $\tau_{ВЛВ}$  складывается соответственно из затрат времени на переезды для выполнения пробного включения отключившейся ВЛ 35(110) кВ, для деления цепи “источник – потребитель” (локализации поврежденной ВЛ 35(110) кВ), для включения неповрежденных элементов указанной цепи.

При расчете  $\tau_{ПС}$  учитываются такие повреждения остального оборудования ПС (кроме повреждений в РУ 10 кВ), которые не приводят к отключению

ЛЭП. Это чаще всего будут повреждения трансформатора и его ошиновки до управляемых защитой (автоматикой) аппаратов с обеих сторон. Для подстанций 110/10 кВ с выключателями на линиях 110 кВ и с защитой шин 110 кВ это могут быть и повреждения на секциях шин 110 кВ.

При расчете  $\tau_{рст10}$  учитываются повреждения на подстанции секции шин 10 кВ, к которой присоединена ВЛ 10 кВ, питающая рассматриваемого потребителя.

Расчет времени отключения при повреждении сетей 10 кВ сельскохозяйственного назначения  $\tau_{10}$  значительно сложнее расчета этого же показателя для основной сети. Это обусловлено невысокой степенью оснащенности сельских сетей коммутационными аппаратами и средствами автоматики.

Продолжительность отключения потребителя при повреждении ВЛ 10 кВ, к которой он присоединен,  $\tau_{10}$  складывается из времени от момента отключения ВЛ 10 кВ до прибытия ОВБ на питающую подстанцию или к коммутационному аппарату на ВЛ 10 кВ (когда на ПС есть дежурный или телеуправление), продолжительности отключения потребителя за время отыскания поврежденного участка, его локализации и включения неповрежденных участков ВЛ 10 кВ, продолжительности процесса обхода, ремонта и включения поврежденного участка, во время которого отключен рассматриваемый потребитель.

Точный расчет продолжительности отключения потребителя АПК при повреждении на ВЛ 10 кВ может быть обеспечен только путем использования строгих математических моделей процессов поиска повреждения и восстановления электроснабжения при повреждении в цепи “источник–потребитель”. Такие модели, разработанные применительно к сельской распределительной электрической сети, изложены в [3]. Эти модели отличаются чрезвычайной сложностью, обоснованной массой логических условий, которые необходимо учесть для адекватного описания действий защиты и автоматики, оперативного и ремонтного персонала в процессе отыскания повреждения, его локализации и восстановления электроснабжения, отключившегося при возникновении по-

вреждения потребителей. Значительная часть указанных логических условий связана с необходимостью учета влияния на проведение упомянутого процесса схемы сети и оснащения её коммутационными аппаратами, защитой и автоматикой, а также средствами отыскания места повреждения.

Упрощенный метод основан на выделении в схеме ВЛ 10 кВ части, содержащей электрическую связь между питающей ПС 35(110)/10 кВ, ТП потребителя и ближайшим резервом, на который эту ТП можно переключить при исчезновении основного питания, или ближайшим концом линии, если указанного резерва нет.

Продолжительность отключения потребителя при повреждении в питающей ее ТП 10/0,4 кВ  $\tau_{\text{ТП}}$  складывается из затрат времени на получение информации об исчезновении напряжения у потребителя и прибытия ОВБ к ТП и затрат времени на выполнение ремонта или замены поврежденного элемента в ТП.

Продолжительность отключения потребителя при повреждении на питающей его ВЛ 0,38 кВ  $\tau_{\text{ВЛ}}$  состоит из затрат времени на получение информации об исчезновении напряжения у потребителя и прибытия ОВБ к соответствующей ВЛ 0,38 кВ и затрат времени на выполнение ремонта ВЛ 0,38 кВ.

В работе изложены основные положения методики расчёта продолжительности отключения потребителей АПК при повреждении элементов схемы электроснабжения. Этот показатель может быть использован для оценки уровня надёжности существующей схемы электроснабжения потребителей.

## Литература

1 Методические указания по обеспечению при проектировании нормативных уровней надёжности электроснабжения сельскохозяйственных потребителей. – М.: ВГПИНИИ “Сельэнергопроект”, 1986. – 32 с.

2 Куценко, Г.Ф. Методика определения расчетного количества внезапных отключений потребителей сельскохозяйственного назначения по цепи “источник—потребитель” / Г.Ф. Куценко, О.Ю. Пухальская // Вестник Гомельского

государственного технического университета им. П. О. Сухого. – 2005. – №3. – С. 30-33.

3 Прусс, В.Л. Повышение надежности сельских электрических сетей / В.Л. Прусс, В.В. Тисленко. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1989. – 208 с.

## **К ВОПРОСУ УЧЕТА ФАКТОРА УРОВНЯ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ В ТАРИФАХ НА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ**

Русан В.И., УО Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск;

Пухальская О.Ю., Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого, г. Гомель

Переход производителей и потребителей электроэнергии к рыночным отношениям ставит задачу разработки тарифов, способных решать ряд специфических вопросов функционирования энергетической отрасли. К таким вопросам можно отнести учет фактора уровня надежности электроснабжения потребителей.

При заключении договоров и контрактов на поставку электроэнергии, даже с бытовым потребителем, в ряде стран оговариваются качественные параметры поставляемой электроэнергии (диапазон отклонений напряжения и частоты) и надежность электроснабжения, особенно для промышленных производств с непрерывным циклом и ряда объектов коммунально-бытовой сферы. Невыполнение договорных условий со стороны энергоснабжающей компании, приведших к снижению качества конечной продукции предусматривает возмещение нанесенного ущерба.

В США широко применяются тарифы на прерывание электроснабжения. Эти тарифы пользуются довольно большой популярностью в США среди потребителей, и энергокомпании предоставляют такой тариф избирательно. Основными принципами, на которых базируется данный тариф, являются:

- 1) обслуживание потребителя носит прерывистый характер;
- 2) потребители соглашаются с более низким качеством услуг в обмен на более низкую цену;
- 3) энергокомпании избегают затрат на дополнительные генерирующие мощности, а экономию делят с потребителями, согласившимися на прерывистое электроснабжение.

Потребители, использующие эти тарифы (в основном крупные промышленные предприятия), идут на снижение надежности электроснабжения в обмен на уменьшение тарифной ставки за максимум нагрузки. При этом энергокомпании предоставляют потребителю возможность выбора частоты перерывов (их количество в расчете на год), максимальную продолжительность одного перерыва, величину недоотпуска на один перерыв. Учитывая интересы потребителей, составляется матрица возможных вариантов ограничения их нагрузки, на базе которой формируется система льготных тарифов.

Плату потребителя энергоснабжающей организации за заявленную им степень надежности можно рассчитывать исходя из ущерба, наносимого потребителю от перерывов электроснабжения, и капитальных вложений в развитие электрических сетей, направленных на повышение надежности электроснабжения.

### **Выводы**

1. В тарифах на электроэнергию необходимо учитывать фактор уровня надежности электроснабжения потребителей.
2. В случае включения в тариф на электроэнергию платы за надежность, энергоснабжающая организация будет получать от потребителя дополнительные средства, которые будут направляться на поддержание заявленного потребителем уровня надежности. В случае несоблюдения условий договора потребителю будет выплачиваться компенсация.

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Салова Т.Ю.,

СПбГАУ, г. С.-Петербург, Пушкин

Известен метод некаталитического (гомогенного) восстановления оксидов азота аммиаком, сущность которого основана на способности аммиака в присутствии кислорода при температуре 900...1100°C восстанавливать NO до N<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O. Одной из основных особенностей этого метода очистки является чувствительность к изменению температуры.

Однако, при использовании его для очистки дымовых газов промышленных котлов и технологических печей, степень снижения содержания NO<sub>x</sub> не превышала 60-70%, т. е. не превосходила уровня, достигаемого изменением режимов сгорания топлива. Это объясняется влиянием многочисленных неучитываемых факторов: компонентного состава очищаемых газов, эффективности смешения восстановителя с потоком газа, влияния внутренних поверхностей оборудования на процессы химических превращений реагирующих газов и ряда других факторов.

Важнейшее значение при реализации процесса восстановления NO аммиаком в промышленных условиях имеет создание оптимальных условий для смешения малых объемов газа — восстановителя с потоком очищаемого газа. Различие в соотношении этих объемов, как правило, составляет несколько порядков, поэтому задача достижения высокой степени гомогенизации смешиваемых потоков за минимальный промежуток времени является одной из определяющих для обеспечения высокой эффективности очистки.

Наряду с работами по совершенствованию аммиачного метода предложены процессы с использованием карбамида в качестве восстановителя оксидов азота. Восстановитель вводится в поток дымовых газов, температура которых находится в пределах от 700 до 1100°C, как в виде водного раствора, так и в

твердом или расплавленном виде. При этом было показано, что степень снижения концентрации  $\text{NO}_x$ ; зависит от температуры, соотношения концентраций карбамида и  $\text{N}_0$ , а также от способа ввода карбамида. Добавление ряда органических соединений, например, метанола, этиленгликоля, глицерина, кетонов, промотирует процесс восстановления  $\text{N}_0$  и расширяет диапазон рабочих температур процесса.

Процесс восстановления может быть успешно использован для большого круга стационарных источников загрязнения атмосферы оксидами азота. В этом процессе водный раствор карбамида инжестируют в газовый тракт теплового агрегата в одной или нескольких точках в зависимости от типа и размеров агрегата.

Водный раствор карбамида эффективно восстанавливает  $\text{NO}_x$  в области температур 925-1050°C, введение же органических добавок в этот раствор позволяет расширить диапазон температур до интервала 800-1150°C. Введение таких смесей на нескольких уровнях заметно увеличивает степень очистки при одновременном снижении выбросов аммиака. Для расширения температурных границ эффективного применения процесса восстановления  $\text{NO}_x$  предлагается добавлять в инжестируемый водный раствор карбамида промотирующие добавки. Это позволяет расширить температурные границы до интервала от 500 до 1200°C. Дальнейшие попытки повышения эффективности очистки дымовых газов от  $\text{NO}_x$  при минимальном образовании побочных загрязнителей привели к существенному усложнению системы некаталитического процесса с использованием карбамида.

Для увеличения эффективности использования карбамида при некаталитической денитрификации дымовых газов предложено также использование перекиси водорода, добавляемой к водному раствору карбамида, распыляемого в потоке дымового газа.

Нестабильность результатов и плохая воспроизводимость их при восстановлении оксидов азота карбамидом требует дальнейшее изучение механизма процессов, протекающих при использовании карбамида.

Предложены способ и принципиальная технологическая схема гомогенного процесса очистки дымовых газов от  $\text{NO}_x$  (рисунок 1). Расчёт основных размеров конструкции нейтрализатора основан на применении метода расчета газового эжектора с использованием законов сохранения массы, количества движения и энергии, выраженных через газодинамические функции.

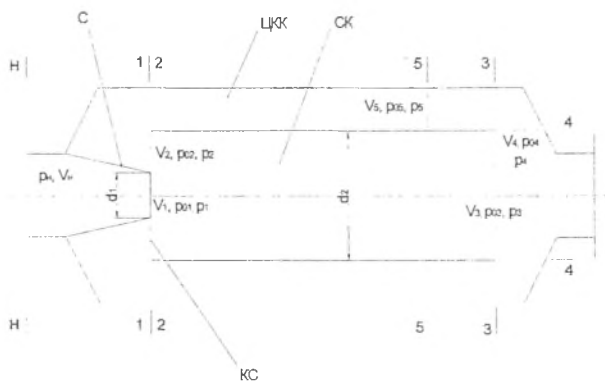


Рисунок 1 – Структурная схема расчета нейтрализатора:  
 С – сопло; ЦКК - цилиндрический кольцевой канал; СК – смешительная камера; КС – кольцевое сечение

Основное достоинство предложенного процесса заключается в том, что за счет интенсивного перемешивания восстановителей в потоке газа обеспечивается полное смешение очищаемых газов с восстановителями без использования специальных смешительных устройств.

В предложенном процессе исключается вторичное загрязнение атмосферы аммиаком и изоциановой кислотой, даже в тех случаях, когда изменяется тепловая нагрузка и, соответственно, температура газов и соотношение восстановителя к  $\text{NO}$ .

Так как основными факторами, влияющими на величину оксидов азота в ОГ, являются скорость подачи восстановителя, температура, состав и расход

отходящих газов, то они и были выбраны в качестве факторов варьирования. Область варьирования факторов определялась из условия максимальных значений концентраций оксидов азота в ОГ.

## УПРОЩЕННАЯ ОЦЕНКА ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ ГИБКОЙ ОШИНОВКИ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Сергей И.И., Андрукевич А.П.,

УО «Белорусский национальный технический университет», г. Минск

Согласно ГОСТу [1] электродинамическая стойкость проводов оценивается по максимальным тяжениям и отклонениям проводов. В существующих методах расчет максимального тяжения выполняется без учета криволинейности траектории движения провода при коротком замыкании и влияния на нее конструктивных элементов гибкой ошиновки распределительных устройств [2].

После отключения короткого замыкания (КЗ) в момент падения проводов появляется максимум тяжения  $T_{\max}$ , который имеет наибольшее значение, когда вся накопленная токоведущими конструкциями потенциальная энергия при и после КЗ  $E_{\text{п max}}$  преобразуется в энергию упругих деформаций проводов и опор  $E_y$ . Доклад посвящен дальнейшему развитию и совершенствованию упрощенного метода расчета максимального тяжения гибкой ошиновки.

При максимальном угле отклонения провода, лежащего в диапазоне  $50^\circ$ – $140^\circ$ , он после КЗ перемещается по наклонной криволинейной траектории. В этом случае  $T_{\max}$  соответствует участку BC на рисунке 1 и в точке C тяжение имеет свое наибольшее значение. В пределе при вертикальном падении провода получим максимально возможное тяжение после КЗ. Однако в действительности провод всегда перемещается по наклонной криволинейной траектории из-за наличия запасенной при КЗ кинетической энергии движения и угол его падения  $\delta_{\text{над}}$  не равен нулю. Поскольку данный угол из-за криволинейности траектории

движения провода является переменным, то в упрощенном расчете определяется средняя величина этого угла. Для нахождения среднего угла  $\delta_{nad}$  соединяем точки наивысшего подъема и наинизшего опускания провода прямой линией. Угол между этой линией и вертикалью представляет средний угол падения.

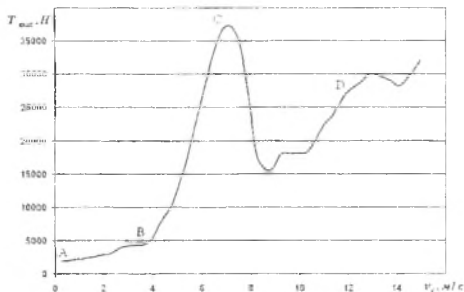


Рисунок 1 – Зависимость максимального тяжения от скорости движения  $v_k$  (провод АС-500/27, пролет длиной 45 м, продолжительность КЗ 0,2 с).

Из равенства величин энергий  $E_y$  и  $E_{п\max}$  после преобразований получим формулу для определения максимального тяжения проводов

$$T_{\max} = \sqrt{T_0^2 + 13,08 \cdot E \cdot A \cdot f_0 \cdot \rho \cdot (\cos \delta_{nad} - \cos \delta_{\max})}. \quad (1)$$

Как видно из формулы (1) точность расчета максимального тяжения зависит от точности определения углов  $\delta_{nad}$  и  $\delta_{\max}$ . Максимальный угол отклонения плоскости провода определяется из уравнения энергетического баланса провода после КЗ и имеет следующий вид

$$\delta_{\max} = \arccos(\cos \delta_k - 0,06116 \cdot v_k^2 / f_0). \quad (2)$$

С помощью вычислительного эксперимента по компьютерной программе получен универсальный график зависимости угла падения провода  $\delta_{nad}$  от максимального угла отклонения, представленный на рисунке 2.

После анализа результатов вычислительного эксперимента и обработки, полученных данных, формула (1) была модифицирована и в общем случае для

расчета максимального тяжения в случае жесткого закрепления проводов она имеет следующий вид

$$T_{\max} = \cos^n \delta_{\text{над}} \cdot \sqrt{T_0^2 + 13,08 \cdot E \cdot A \cdot f_0 \cdot \rho \cdot (1 - \cos \delta_{\max})}, \quad (3)$$

где  $n$  – показатель степени;  $n=3$ , если  $\delta_{\max} \leq 100^\circ$ ;  $n=1$ , если  $\delta_{\max} > 100^\circ$ .

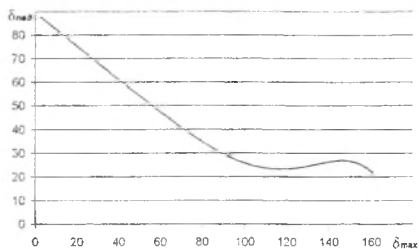


Рисунок 2 – Зависимость угла падения от максимального угла отклонения провода.

Для учета влияния гирлянд изоляторов на величину максимального тяжения вычислительным экспериментом получен поправочный коэффициент  $k_2$ , равный  $k_2 = (\sqrt{f_0})^{-1}$ . Модифицированная формула для расчета максимального тяжения с учетом гирлянд изоляторов имеет следующий вид

$$T_{\max} = k_2 \cdot \cos^2 \delta_{\text{над}} \cdot \sqrt{T_0^2 + 13,08 \cdot E \cdot A \cdot f_0 \cdot \rho \cdot (1 - \cos \delta_{\max})}. \quad (4)$$

В общем случае с учетом гирлянд изоляторов и жесткости порталов максимальное тяжение будет определяться по следующей формуле

$$T_{\max} = k_2 \cdot \cos^n \delta_{\text{над}} \cdot \sqrt{T_0^2 + 13,08 f_0 \rho I K_{\text{оп}} \cdot \frac{EA}{(IK_{\text{оп}} + EA)} \cdot (1 - \cos \delta_{\max})}, \quad (5)$$

где  $n$  – показатель степени;  $n=1$ , если  $\delta_{\max} \leq 70^\circ$ ;  $n=2$ , если  $\delta_{\max} > 70^\circ$ .

#### Литература

1. ГОСТ 30323–95. Короткие замыкания в электроустановках: Методы расчета электродинамического и термического действия токов короткого замыкания. – Введ. 01.03.1999. – Мн.: 1999. – 57 с.

2. Сергей И. И., Андрукевич А. П., Пономаренко Е. Г. Упрощенный расчет максимальных тяжений проводов на двух стадиях их движения при коротком замыкании // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2006. – № 6. – С. 12–16.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЛЯСКИ ОДИНОЧНЫХ ПРОВОДОВ ВОЗДУШНЫХ ЛЭП С УЧЕТОМ ГАСИТЕЛЕЙ КОЛЕБАНИЙ**

Сергей И.И., Климкович П.И.,

УО «Белорусский национальный технический университет», г. Минск

Пляска проводов возникает при сочетании односторонних гололедных отложений на проводах толщиной от 3 до 20 мм и скоростей ветра 6–20 м/с [1]. Около 40 % всех гололедных аварий на ЛЭП обусловлено воздействием пляски проводов. Наибольшее число случаев пляски приходится на ВЛ 35 и 110 кВ в пролетах от 100 до 200 м с двойной амплитудой колебаний не более 4 м.

Для ограничения и гашения колебаний используются механические гасители пляски, оснащенные устройствами демпфирования [2]. Наиболее простыми из них является эксцентричные грузы. Исследования эффективности механических гасителей пляски проводятся в странах Европейского Союза, США (EPRI) и в Канаде (Ontario Hydro). Метод эксцентричных грузов был успешно использован в энергосистемах Японии специалистами фирмы Fujikura Ltd. [2].

В докладе излагается численный метод оценки эффективности механических гасителей колебаний, пригодный для постановки вычислительного эксперимента пляски проводов воздушных ЛЭП. На основе принципов математического моделирования динамики токоведущих конструкций, предложенных в [3], получены уравнения пляски проводов и динамики механического гасителя с маятником и упруго-вязким демпфером для одиночного провода. Гасители разбивают провода на участки. Положение концов участка провода и зажимов гасителей колебаний совпадают. Поэтому их координаты и углы поворота бу-

дуг равны. Таким образом, ставится нестационарная краевая задача пляски одиночных проводов с установленными механическими гасителями колебаний. Численное решение краевой задачи производится разностным методом по явной схеме. Начальные условия определяются положением фазы в момент, предшествующий колебаниям.

Вычислительный эксперимент проводится с помощью разработанной компьютерной программы (КП), в которой реализован численный метод расчета пляски одиночных проводов воздушных ЛЭП. Он позволяет найти амплитуды, максимальные и минимальные тяжения, а также определить развитие автоколебаний или их затухание для различных схем установки механических гасителей и их параметров. Определение аэродинамических коэффициентов производится из каталогов опытных аэродинамических характеристик (АДХ). Оценка достоверности компьютерных расчетов производилась их сравнением с литературными данными [4] (табл. 1). С учетом рекомендаций для выбора схем установки гасителей проведены многочисленные расчеты пляски одиночных проводов в пролетах ЛЭП 100, 200 и 300 м, оборудованных эксцентричными грузами.

Таблица 1 – Сравнение результатов расчета колебаний провода АС–95/16 при наличии механических гасителей:  $l = 100$  м,  $V = 20$  м/с

Демпфер				Характер колебательного процесса	Примечание
Вес, кг	Момент инерции, кг м <sup>2</sup>	Количество	Схема установки		
20	0,00924	2	1/4; 3/4	Затухание	
12	0,00885	2	1/4; 3/4	Пляска	$Z_{\max} = 0,65/0,6$ м
3	0,00687	2	1/4; 3/4	Пляска	$Z_{\max} = 1,06/1,0$ м
3	0,00687	2	1/4; 15/24	Пляска	$Z_{\max} = 0,64/0,6$ м
3	0,00687	2	5/12, 15/24	Затухание	
3	0,00687	2	1/3, 2/3	Затухание	

Примечание: в числителе расчет по КП; в знаменателе – расчет [4]

Выполненный численный анализ влияния угла установки механических гасителей на параметры пляски проводов для пролетов различной длины пока-

зал, что при углах установки в  $15^\circ$  достигается полное затухание колебаний в рассмотренных случаях (рис. 1).

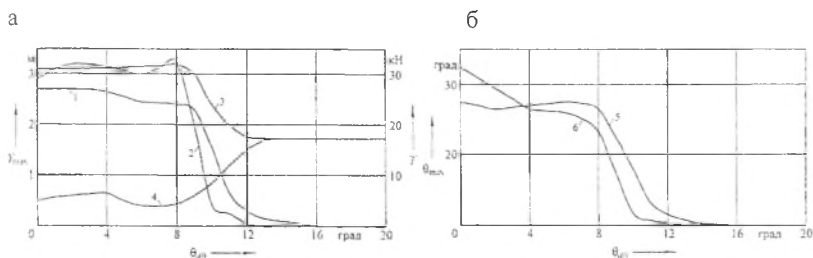


Рисунок 1 – Влияние  $\theta_{d0}$  на динамические характеристики пляски: АС-240/56;  $l = 200$  м;  $V = 20$  м/с; два гасителя по  $W_d = 12$  даН;  $l_d = 0,05$  м; 1 –  $Y_{\max}$  ( $1/3, 2/3$  пролета); 2 –  $Y_{\max}$  ( $1/4, 3/4$  пролета); 3 –  $T_{\max}$  ( $1/3, 2/3$  пролета); 4 –  $T_{\min}$  ( $1/4, 3/4$  пролета); 5 –  $\theta_{\max}$  ( $1/3, 2/3$  пролета); 6 –  $\theta_{\max}$  ( $1/4, 3/4$  пролета)

Таким образом, разработанный численный метод расчета пляски с учетом гасителей колебаний пригоден для исследования конкретных схем их установки на воздушных ЛЭП с различными физико-механическими параметрами и геометрическими характеристиками.

#### Литература

1. Ловецкая Е.М., Савваитов Д.С., Шапцов В.А. Анализ случаев пляски проводов ВЛ 10–750 кВ // Электрические станции. – 1987. – № 2. – С. 36–40.
2. The Simulation Method of Galloping of Overhead Transmission Line. – Technical Laboratory of the Hokkaido Electric Power Co. Ltd. – Joint Meeting of UNIPED, CORECH – Galloping, 1983, Kyoto, Japan.
3. Сергей И.И., Климович П.И. Численное моделирование пляски одиночных проводов воздушных ЛЭП и средств ее ограничения // Вестник БГПА. – 2002. – № 1. – С. 58–60.

# ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ РАБОТЕ ТРЕХФАЗНЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПОСЛЕ ЧАСТИЧНОГО РЕМОНТА ОБМОТКИ

Сердешнов А.П., Базулина Т.Г.,

УО Белорусский государственный аграрный технический университет, г.

Минск

Задачи энергосбережения в нашей республике являются весьма актуальными. К тому же в настоящее время во многих хозяйствах отсутствует достаточный обменный фонд электрических машин. В этих условиях отказ трехфазных асинхронных двигателей (АД) часто наносит предприятию серьезный экономический ущерб из-за простоя технологической линии до тех пор, пока неисправная машина не будет отремонтирована. К тому же нередко энергетические показатели их работы оставляет желать лучшего. Между тем, так как подавляющее большинство неисправностей АД связано с нарушением нормальной работы только одной секции, то в таких условиях может быть применен разработанный в БГАТУ новый метод частичного ремонта обмоток трехфазных АД с использованием добавочного сопротивления [1].

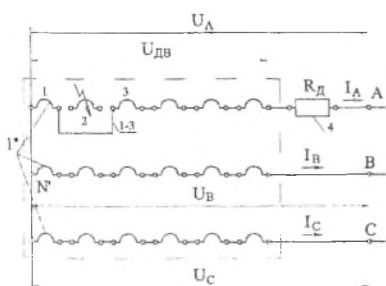


Рис.1. Схема включения дополнительного сопротивления в цепь обмотки с поврежденной секцией.

При выполнении предлагаемого ремонта (рис.1) неисправная секция выводится из электрической цепи обмотки с помощью перемычки 1-3 между целыми секциями 1 и 3, и в поврежденную фазу А подключается добавочное сопротивление  $R_d$ . В результате "выкусывания" поврежденной секции изменяется количество витков. Сохранение прежней величины фазного напряжения сети при отсутствии  $R_d$  в обмотке АД резко увеличивает магнитную индукцию, и, следовательно, ток холостого хода. В этих

условиях сохранение номинальной нагрузки на валу машины приводит к превышению тока фазы А над номинальным значением в несколько раз. Так как потери в стали магнитопровода пропорциональны магнитной индукции, а потери в меди – току, то суммарные потери также сильно возрастают.

При подключении  $R_d$  подводимое к фазе А обмотки машины напряжение уменьшается на величину падения напряжения на дополнительном сопротивлении. Значение  $R_d$  выбирается таким образом, чтобы коэффициент несимметрии токов машины, и, следовательно, несимметрия ее магнитной системы были минимальны.

Так как имеются два вида несимметрии (система подводимого к двигателю напряжения и неравенство сопротивлений двигателя по фазам  $Z_a \neq Z_b = Z_c$ ), то в машине появляется магнитное поле обратной последовательности. Это поле создает дополнительный тормозной момент, что приводит к возрастанию токов статора и ротора, а следовательно, увеличивает электрические потери. Кроме того, вращающееся поле обратной последовательности будет пересекать ротор с удвоенной частотой и приведет к повышению потерь в стали ротора. Таким образом, суммарные потери двигателя  $\sum P$  складываются из потерь в обмотке статора  $P_{M1}$  и обмотке ротора  $P_{M2}$ , добавочных потерь  $P_d$ , потерь в стали  $P_c$ , механических потерь  $P_{мех}$ , потери на добавочном сопротивлении  $P_R$  и потери от обратносинхронного поля  $P_{обр}$ . Рассчитать их можно применив метод симметричных составляющих [2].

Для минимизации потерь в обмотку подключается  $R_d$ , которое снижает отрицательное воздействие несимметрии сопротивлений по фазам и выравнивает магнитную индукцию в сердечнике машины и связанные с этим фазные токи АД.

Как показали проведенные в БГАТУ расчеты и эксперименты для двигателя серии АИР мощностью 2,2 кВт, после проведения частичного ремонта с включением добавочного сопротивления КПД снизилось значительно меньше, чем при частичном ремонте без добавочного сопротивления - с 80% до 69%.

Знание фазных токов в комплексном виде позволяет рассчитать коэффици-

енты мощности машины  $\cos\varphi$  для каждой фазы отдельно.

Тогда средневзвешенный коэффициент мощности определяется по формуле:

$$\cos\varphi_{\text{ср}} = \frac{P_{1A} \cos\varphi_A + P_{1B} \cos\varphi_B + P_{1C} \cos\varphi_C}{P_{1A} + P_{1B} + P_{1C}}$$

И как показали проведенные эксперименты, коэффициент мощности при номинальной нагрузке после предлагаемого способа частичного ремонта по сравнению с новым двигателем изменился незначительно – с 0,82 до 0,83. Его повышение связано с уменьшением индуктивной и увеличением активной составляющих сопротивления поврежденной фазы.

Все вышеизложенное позволило сделать следующие выводы:

1. Коэффициент полезного действия двигателя после ремонта по сравнению с паспортными данными снижается незначительно.
2. Коэффициент мощности машины остается практически неизменным.
3. Предлагаемый способ ремонта позволяет сократить время простоя технологической линии.
4. По сравнению со способом частичного ремонта без добавочного сопротивления предлагаемый способ является более целесообразным, так как потери в машине намного меньше и, таким образом, работа АД становится более экономичной.

## **СОСТОЯНИЕ И ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ СИЛОВЫХ МАСЛЯНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ В СЕЛЬСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ**

Сердешнов А.П., Усов Г.Г., Кожарнович Г.И.,

УО Белорусский государственный аграрный технический университет, г.

Минск

В настоящее время в Белорусской энергосистеме находится в эксплуатации более 224,6 тыс. км линий электропередачи напряжением 0,38-10 кВ и почти 69

тысяч трансформаторных подстанций и распределительных пунктов напряжением 6-10/0,4 кВ общей установленной мощностью 13860 МВА. Однако надо учитывать, что в основном данные сети были сформированы до 1970 года по более дешевым, но ненадежным Союзным нормам технического проектирования сетей. Поэтому традиционно электрическая сеть этого класса напряжения является наиболее слабым элементом в системе внешнего электроснабжения [1].

По надежности электроснабжения потребительских электрических сетей наносится значительный урон, как за счет недоотпуска электроэнергии, срыва технологических процессов, так и вследствие порчи сельскохозяйственной продукции. Значителен также срок устранения отказов, требующих значительных трудозатрат. Особенно это проявляется во время стихийных явлений, в результате которых происходят массовые повреждения сетей с погашением потребителей [1].

В связи с этим ежегодно растет объем износа оборудования эксплуатируемого в энергосистеме. Физический износ достигает 65-70%. Это касается и силовых масляных трансформаторов (СМТ) с высшим напряжением 6-10 кВ мощностью до 630 кВА [2].

Согласно «Нормам испытания электрооборудования и инструкциям заводов изготовителей» трансформаторы подвергаются большому количеству различных проверок и испытаний, при изготовлении, монтаже, эксплуатации и ремонте. Сроки проведения проверок и ремонтов жестко устанавливаются независимо от физического состояния. Также в ряде энергосистем дополнительно используются новые средства диагностики состояния трансформаторов.

Анализ результатов собранного материала позволяет сделать заключение, что наиболее характерные повреждения, которые возникают в масляных трансформаторах: пробой изоляции обмоток, недоработка конструкций, скрытые дефекты изготовителей, нарушения правил транспортировки, технологии монтажа, отступления от правил эксплуатации. Ухудшение технического состояния, естественно, влияет на надежность работы трансформаторов.

Проведенные исследования условий эксплуатации трансформаторов в сельских электрических сетях показали, что при эксплуатации в масляных трансформаторах выявляются три основные группы: исправные – отсутствие повреждений; условно работоспособные – имеющие повреждения, но к моменту контроля к аварийному отказу за время эксплуатации не приведшие, а требующие своевременного проведения восстановительного ремонта; аварийные – выявлены повреждения, которое запрещает дальнейшую эксплуатацию.

Если исключить контроль, то следует рассчитывать только на две группы: исправные и аварийные. В первом случае будут выполняться ремонтные работы, во втором, вывод трансформатора из работы и проведение аварийного ремонта.

Необходимо учитывать, что значительное количество трансформаторов установлено на открытом воздухе и работает в повторно кратковременном режиме в условиях повышенной влажности окружающей среды. С течением времени происходит увлажнение и снижение электрических свойств изоляции. При резкой нагрузке, возможно «распаривание» твердой изоляции трансформатора состоящей в основном из волокнистых материалов (картон, бумага), которое ведет к резкому снижению сопротивления и возможному пробое.

Анализ поврежденных трансформаторов проведенный на Минском заводе «Белэнергоремналадка» показал, что основной причиной отказов является пробой изоляции обмоток, а причина пробоев объясняется переувлажнением и старением твердой изоляции до истечения нормативного срока службы [3]. До 30% всех повреждений приходится на преждевременное нарушение изоляции обмоток распределительных трансформаторов работающих в южных районах Украины [4].

Принимая во внимание, что срок службы трансформаторов близок к нормативному, или превышает его, одним из мероприятий способствующих снижению количества отказов и повышению надежности работы является профилактическая сушка твердой изоляции трансформаторов.

Сушка является одним из важнейших технологических процессов производства трансформаторов. Она имеет целью удаление влаги из твердой изоляции, для обеспечения более высокой электрической прочности. При содержании влаги в изоляции трансформатора, равном 2% от сухого веса, старение происходит в 10 раз быстрее, чем при влагосодержании 0,3%, при влагосодержании 4% в 45 раз быстрее [5].

Увлажнение изоляции – процесс неизбежный, а с увеличением продолжительности эксплуатации трансформаторов износ изоляции ускоряется. Влажность, температура и время – одно из основных причин по которой снижается качество изоляции СМТ в сельских электрических сетях. Причем, чем выше содержание влаги, тем интенсивнее идет процесс старения.

Как видно из табл. 1, при номинальной и постоянной в течение года нагрузке изоляция силового трансформатора изнашивается на одну треть от уровня своего нормативного износа, определяемого при температуре окружающей среды, равной  $+20^{\circ}\text{C}$ . Для условий города Минска такая средняя температура окружающей среды характерна лишь для одного месяца в году, т.е. в течение 1/12 года. Если принять во внимание значение годовой эквивалентной температуры, равной  $+10^{\circ}\text{C}$ , то относительный износ изоляции за год составит 0,425 (или 3726,8 часа), что в 1,27 раза больше, чем в случае использования значений температуры окружающей среды, характерной для отдельных периодов года [2].

Если в течение года иметь постоянную нагрузку трансформатора, равную 1,1 номинальной, то вместо положенных 25 лет ресурс изоляции будет израсходован за 18,8 года [2].

Сейчас нет практически способов защиты масляных трансформаторов 10/0,4 кВ сельских сетей от повреждений, связанных с повышенным содержанием влаги в твердой изоляции. Твердая изоляция трансформаторов подвергается тепловым, механическим и электрическим воздействиям. На нее оказывают влияние окружающая среда. Перечисленные факторы ухудшения состояния изоляции могут развиваться постепенно и действовать одновременно. По мере

старения электроизоляции, количество выделяющейся воды увеличивается. Контроль находящихся в эксплуатации сельских трансформаторов установленных в потребительских подстанциях осуществляется традиционными методами.

Таблица 1

Относительный износ изоляции силовых трансформаторов мощностью 25-630 кВА в установившемся режиме при коэффициенте загрузки, равном единице

Износ изоляции	$\Theta_1, ^\circ\text{C}$ при $\Theta_2, ^\circ\text{C}$ , равной					
	-5	0	+5	+11	+18	+20
	Декабрь Январь Февраль	Март Ноябрь	Апрель Октябрь	Май Сентябрь	Июнь Август	Июль
	73,0	78,0	83,0	89,0	96,0	98,0
За сутки, $F_c$ , час	1,33	2,38	4,22	8,40	19,0	24,0
За группы суток, $F_{ст}$ , час	119,7	145,18	257,42	512,4	1159,0	744
За год $F_g$ , час	2937,7					
Относительный износ изоляции $F_g$ за год	0,33					

Известны наиболее применяемые способы сушки твердой изоляции активной части трансформаторов: потерями короткого замыкания, потерями в собственном баке, токами нулевой последовательности. Поэтому, при выборе методов сушки в конкретных эксплуатационных условиях необходимо подходить как к его рациональности, так и к энергоэкономичности. Последнее обстоятельство может быть одним из главных в условиях увеличения стоимости электроэнергии и при хозрасчете.

Данные способы сушки твердой изоляции активной части трансформаторов требуют разборки и демонтажа, применения специального оборудования, повышенных трудозатрат и расхода электроэнергии. Нагревать обмотку трансформатора током при сильном увлажнении опасно из-за возможности ее пробоя.

Поэтому в БГАТУ разработан способ сушки твердой изоляции силовых масляных трансформаторов [6]. Этот способ является удачной комбинацией

наиболее часто используемых в производстве методов. Предложенный способ соединяет положительные стороны методов удаления влаги из твердой изоляции масляных трансформаторов потерями в собственном баке, токами нулевой последовательности и токами короткого замыкания. В нем имеет место положительный градиент тепла, так как по отношению к окружающей среде поток тепла от потерь в стали магнитопровода и в обмотках соединенные по схеме нулевой последовательности направлен от центра к баку, так же как направлен поток влаги из изоляции активной части трансформатора.

Проводимые эксперименты показали, что предложенный способ удаления влаги из твердой изоляции масляного трансформатора дает возможность получить высококачественную сушку, значительно сократив время сушки, исключить необходимость в дополнительных устройствах питания с нестандартным напряжением, понизить расход электроэнергии, незначительные затраты труда.

#### Вывод

Наличие СМТ в эксплуатации с увлажненной изоляцией проблема не только техническая, но и экономическая. Для повышения эксплуатационной надежности и продления расчетного срока эксплуатации трансформаторов в сельских электрических сетях необходима профилактическая сушка твердой изоляции. Применение сушки комбинированным методом сократит до минимума неоправданные материальные потери, связанные с выводом СМТ в длительный ремонт с большими трудовыми и энергетическими затратами. Разработанный способ удаления влаги может применяться на месте установки, в мелких ремонтных мастерских и на электротехнических заводах при изготовлении трансформаторов. Способ прост, обеспечивается высокая эффективность сушки, энергоэкономичен, что позволяет рекомендовать его для практического применения.

#### Литература

1. Концепция развития электрических сетей.- Мн., с. 43-60., 2001г.

2. М.А. Короткевич. Основные направления совершенствования эксплуатации электрических сетей.- Мн.: ЗЭО Техноперспектива, 2003.

3. А.П. Сердешнов., Г.Г. Усов. Сушка твердой изоляции трансформаторов комбинированным методом. // Энергообеспечение и энергоснабжение в сельском хозяйстве. Труды 4-й Международной научно-технической конференции. Ч.1. М.: ВНИИЭСХ 2004.

4. С.А. Ермалаев и др. Защита трансформаторного масла от увлажнения. – МЭСХ №11,1985г.

5. А.П. Сердешнов., Г.Г. Усов. Повышение надежности работы силовых масляных трансформаторов эксплуатируемых в сельских электрических сетях. // Перспективы и направления развития энергетики АПК. Материалы Международной научно-технической конференции. Мн.: 2006.

6. Патент 2156 РБ. Способ удаления влаги из твердой изоляции трансформаторов / А.П. Сердешнов., Г.Г. Усов и др. - №2 (17). – С.14.

## **К ВОПРОСУ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТАНДАРТОВ НА КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ**

Сердешнов А.П., Шевчик Н.Е.,

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»;

Солдатенко А.А., Шевчик А.Н.,

ГУ «НИПТИхлебопродукт» г. Минск

Проведенный сравнительный анализ действующего в Республике Беларусь и в большинстве стран СНГ ГОСТ 13109-97 «Требования к качеству «Требования к качеству электрической энергии в электрических сетях общего назначения» и нормативного документа DIN EN 50160 «Показатели качества электрической энергии» по вопросам области применения, нормативных ссылок, определений, обозначений и сокращений, показателей качества электроэнергии,

норм, определений показателей и контроля качества позволили сделать ниже следующие основные заключения.

В ГОСТе 13109-97 расширены режимы, по сравнению с предыдущим стандартом, на которые распространяется ГОСТ. Кроме того, для ряда потребителей (у которых колебания и нелинейность нагрузок, а также другие показатели, обусловлены ими самими) ГОСТом допускается ужесточение допустимых норм, при этом учитывается также то, что в несимметрии системы фазных напряжений электрической сети, с большим удельным весом однофазных нагрузок, может быть виновата электроснабжающая организация.

В целом новая редакция понятий и определений ГОСТ 13109-97 более удачная, чем в старом. Но вместе с тем возможно следует понятие «потребитель электроэнергии» заменить на «покупатель» или «клиент», ввести понятие «согласованное напряжение сети» и определения: «низкое напряжение» (до 1 кВ), «среднее» (от 1 до 35 кВ), как это сделано в DIN EN 50160/

Удачной является также замена понятия «доза колебания напряжения» на «доза колебания фликера» это дает возможность более точно нормировать допустимую величину колебания, а также уточнить методику его измерения.

Что касается норм качества электроэнергии считаем нужным отметить: во-первых, рациональность увеличения допустимой нормы коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения с 5 до 8% в нормальных режимах сомнительна. Данные предварительных исследований позволяют сделать вывод, что повышение этого показателя только на 6% снижает срок службы изоляции асинхронных двигателей в два раза; во-вторых, *соответствие* «дозы колебания фликера» и «дозы колебания напряжения» требуют дополнительных исследований; в-третьих, в ГОСТ-е 13109-97 строго регламентированы нормы *n*-ных гармонических составляющих напряжения для работы в нормальных режимах с указанием конкретного номера гармоники. Такое ограничение весьма целесообразно, так как, например, для работы асинхронного двигателя наибо-

лее вредны 5-тая и 7-мая гармоники, в то время как третья и кратные ей вместе с четными гармониками на работу никакого влияния не оказывают.

Что касается определения показателей и контроля качества электрической энергии, то ГОСТ 13109-97 установил жесткие требования периодичности измерений по показателям качества с интервалом усреднения и количеств измерений на интервале усреднения. Рекомендуемая продолжительность измерений составляет 7 суток, обязательная продолжительность измерений не менее 24 часов.

По данному разделу авторы имеют следующие замечания:

1. Измерения несинусоидальности напряжения должно происходить 9 раз за 3 с в течении 24 часов. Для напряжения – 18 раз за 60 с. Измерение и хранение в течение суток всей информации потребует быстродействующего процессора в приборе и большего объема оперативной памяти.

2. Непонятно, почему коэффициенты несимметрии по обратной и нулевой последовательности требуют такого быстрого съема информации как при измерении несинусоидальности. Указанные коэффициенты относятся к установившемуся значению напряжения, поэтому интервал усреднения и величины выборки в нем могли бы быть не такими жесткими.

3. При измерении частоты тока и других параметров в DIN EN 50160 такого жесткого регламента нет. Частота тока замеряется в течение 10 с, другие параметры – в течение 10 мин. Количество измерений за это время не указано, периодичность замеров – также.

Способы расчетов и методик определения показателей качества электроэнергии и вспомогательных параметров глубоко не анализировались. Для этого необходимо более длительное время. Однако, если внимательно прочесть методику расчета установившегося отклонения напряжения, можно сделать вывод, что указанный параметр для однофазных потребителей не регламентируется.

#### Литература

1. ГОСТ 13109-87. Электрическая энергия. Требования к качеству электрической энергии в электрических сетях общего назначения. 1987.

2. ГОСТ 13109-97. Требования к качеству электрической энергии в электрических сетях общего назначения. 1997.
3. DIN TN 50160. Показатели качества электрической энергии.
4. Шевчик Н.Е. Повышение качества напряжения в сетях 0,38 кВ путем использования в них трансформаторов со специальными схемами соединения обмоток. //Диссертация на степень кандидата технических наук. Минск, 1985.

## ТРАНСФОРМАТОР $Y/Y_n$ С СИММЕТРИРУЮЩИМ УСТРОЙСТВОМ

Сердешнов А.П., Янукович Г.И., Шевчик Н.Е., Протосовицкий И.В.,  
УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск

Самый экономичный в изготовлении трехфазный двухобмоточный трансформатор – со схемой соединения обмоток  $Y/Y_n$  в четырехпроводных сетях 0,38 кВ в эксплуатации экономичен только при равномерном распределении нагрузки по фазам. В том случае, если симметрия распределения нарушается, все его положительные качества сводятся на нет: резко искажается система фазных напряжений, а следовательно нарушается нормальная работа всех трехфазных токоприемников, увеличивается отклонение напряжения у потребителей до значений намного больше, чем допускает стандарт  $\pm 5\%$ , возрастают потери короткого замыкания, что приводит к увеличению потерь электрической энергии в сети и пр.

Причиной всех нарушений нормальной работы электрической сети является высокое сопротивление нулевой последовательности ( $Z_0$ ) трансформаторов  $Y/Y_n$ , которое, в свою очередь, создается неуравновешенными потоками нулевой последовательности  $\Phi_0$ .

Рекомендованные ГОСТ 11677-85 другие схемы соединения обмоток для выше указанных трансформаторов -  $/Y_n$ ,  $Y/Z_n$  дают возможность либо понизить  $\Phi_0$ , а следовательно и  $Z_0$  (при  $/Y_n$ ), либо полностью его компенсировать (при  $Y/Z_n$ ) тогда  $\Phi_0$  и  $Z_0$  практически равны нулю. Однако эти схемы требуют значительного увеличения расхода электротехнических материалов, приводят к

увеличению потерь короткого замыкания и как следствие возрастанию потерь электроэнергии в сети. Кроме того обе схемы имеют 11 группу, что несовместимо с работой этих трансформаторов в параллель и в кольце с трансформаторами  $Y/Y_n$ , получившими доминирующее применение в трехфазных, четырехпроводных электросетях 0,38 кВ стран СНГ.

Следует отметить также, что в сетях 0,38 кВ с трансформаторами  $Y/Y_n$  использование организационных мероприятий и специальных симметрирующих устройств для устранения всех ненормальностей работы при несимметрии нагрузки желаемых результатов не дали. Требовалось другое нестандартное решение.

В 1961 году Сердешновым А.П. была подана первая заявка на новую схему соединения обмоток трансформатора «звезда-звезда-ноль с компенсационными витками (КВ), соединенными в разомкнутый треугольник». Исследование схемы выполнялось группой ученых под руководством проф. Сердешнова А.П в Белорусском институте механизации сельского хозяйства (в настоящее время БГАТУ). Они показали, что трансформаторы с новой схемой соединения обмоток полностью компенсируют потоки нулевой последовательности  $\Phi_0$ , а следовательно, сопротивление этой последовательности сводят практически к нулю ( $Z_0 \approx 0$ ). Отсюда схема обладает *высокой симметрирующей способностью* - устраняет *искажение системы фазных напряжений*, что соответственно приводит отклонение этих напряжений у потребителей в пределы установленные ГОСТ 13109-97 ( $\pm 5\%$ ).

Было установлено, что схема обеспечивает *высокую синусоидальность кривых фазных напряжений* при работе трансформаторов на нелинейные нагрузки, что объясняется компенсацией магнитных потоков третьей гармонической составляющей и кратных ей. Компенсация потоков нулевой последовательности  $\Phi_0$ , которые замыкаются через бак и все другие ферромагнитные детали трансформатора позволила устранить *его перегрев*, ликвидировать явление, когда при несимметричной загрузке фаз суммарной мощностью ниже номинальной он оказывался перегруженным. От этого в эксплуатации электрических сетей не редки случаи возгорания трансформаторов  $Y/Y_n$ .

Вместе с указанным, КВ устраняют *разрушение обмоток в трансформаторах  $Y/Y_n$  при однофазных коротких замыканиях*, так как мощное разрушающее несимметричное поле  $\Phi_0$  равно нулю. К тому же в электрических линиях 0,38 кВ при однофазных к.з. «скачек-повышение напряжения» на здоровых фазах сокращается до допустимых величин.

КВ обмотки НН трансформатора также снимают у него *повышенный шум*, создаваемый мощным полем  $\Phi_0$ , что крайне важно при установке трансформаторов  $Y/Y_n$  на ТП встроенные в жилые здания.

Новая обмотка *стабилизирует потери короткого замыкания* трансформаторов в пределах схемы  $Y/Y_n$  независимо от характера загрузки фаз. Это значительно сокращает потери электрической энергии как в самих трансформаторах, так и в электросети. Расчеты проведенные ОАО «БЕЛЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ» (г. Минск) показали, что в усредненной электрической сети Республики Беларусь с среднестатистическим трансформатором мощностью 100 кВ.А, при токе в нулевом проводе 25% от номинального фазного, потери от несимметрии нагрузки снижаются на 1693 кВт·ч (по сравнению с сетью с трансформатором  $Y/Y_n$  без КВ) и на 454 кВт·ч (по сравнению с сетью с трансформатором  $Y/Z_n$ ) за один год эксплуатации.

В заключение следует отметить, что трансформаторы со схемой соединения обмоток  $Y/Y_n$  и КВ имеют *нулевую группу*, также как и трансформаторы  $Y/Y_n$ , что позволяет использовать их в одних и тех же сетях или в кольце, или параллельно или раздельно. Причем, если трехфазные нагрузки в основном симметричны (заводы, комплексы и т.п.) для использования целесообразны трансформаторы  $Y/Y_n$ , если нагрузки в основном однофазные или смешанные с преобладанием однофазных (коммунально-бытовые и т.п.) целесообразны для использования трансформаторы с предлагаемой новой схемой соединения обмоток. Сказанное рекомендуется протоколами последних лет ГПО «Белэнерго» и Концепцией развития электрических сетей Белорусской энергосистемы на 2001-2010 годы (Приложение к постановлению Министерства экономики РБ от 24.05.2001 №92).

По результатам проведенных школой «Повышение качества электрической энергии РБ» при кафедре электроснабжение исследования (вначале БИМСХ а затем БГАТУ) в 1982 году авторами тезисов было получено а.с. СССР №1099328 на новую конструкцию размещения КВ или иначе встроенного симметрирующего устройства (СУ) в трансформаторах  $Y/Y_n$ , а в 1997г патента РБ №1685. Кроме того, приоритет в разработках обеспечивающих высокое качество электроэнергии зафиксирован в 23 авторских свидетельствах и патентов СССР и РБ, опубликовано более сотни печатных научных работ, защищено 5 диссертаций на степень кандидатов технических наук, проведено внедрение в производство новой схемы соединения обмоток. С 2000 года производство трансформаторов  $Y/Y_n$ СУ на электротехническом заводе им. В.И. Козлова поставлено на конвейер.

В настоящее время сотрудниками кафедры рассматриваются вопросы использования компенсационных витков в схемах соединения обмоток измерительных трансформаторов напряжения и кроме того использование трансформатора  $Y/Y_n$ СУ для новой комбинированной системы электроснабжения. Уже разработана новая схема соединения обмоток трансформаторов – «звезда-треугольник с зигзагом», на нее получен патент РБ №2244, ведутся дальнейшее исследования.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ УПРАВЛЕНИЯ НА МАЛЫХ ГЭС, ПОДКЛЮЧЕННЫХ К ЭНЕРГОСИСТЕМЕ**

Счастный В.П., Зеленькевич А.И.,

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск

В Республике Беларусь использование местных топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) — одно из приоритетных направлений энергосбережения. Согласно Директиве Президента Республики Беларусь № 3 «в целях укрепления экономической безопасности государства...» Совету Министров Республики

Беларусь и Национальной академии наук Беларуси поручено «активизировать работы по строительству ГЭС малой и средней мощности...».

Среди экономических, экологических и социальных преимуществ объектов малой гидроэнергетики можно выделить: повышение энергетической безопасности региона, обеспечение независимости от поставщиков топлива, находящихся в других регионах, экономия дефицитного органического топлива. Сооружение МГЭС не требует крупных капиталовложений, большого количества энергоемких строительных материалов и значительных трудозатрат, относительно быстро окупается. Для снижения себестоимости возведения целесообразна унификация и сертифицикация оборудования.

При работе МГЭС в системе происходит разгрузка питающих и распределительных электрических сетей, что ведет к снижению энергетических потерь, повышается устойчивость и надежность системы, высвобождаются пропускные способности линий электропередачи. МГЭС получили название *источников распределенной генерации*, поскольку они относятся к установкам малой мощности и подключаются к распределительной сети или непосредственно к потребителю. Вследствие чего, чрезвычайно важным является возможность по регулированию мощности для МГЭС. Вследствие нестационарного режима их работы, могут возникать проблемы регулирования, устойчивости и живучести электроэнергетических систем.

Во многом возникающие проблемы обусловлены тем, что диспетчер энергосистемы не может управлять режимом работы данных установок. В этом заключается специфичность ситуации. Режим работы крупных электростанций контролирует диспетчер энергосистемы, а здесь это ему неподконтрольно, поскольку каждый потребитель самостоятельно может включать-выключать установку, изменять нагрузку в любой момент. В настоящее время прорабатывается *концепция виртуальной электростанции*, представляющей набор малых ГЭС в некотором районе. Концепция строится на принципе диспетчерского управления отдельными МГЭС через Интернет.

Неоднозначно влияние малых станций на качество электроэнергии. Такие малые установки, с одной стороны, обеспечивают стабильный уровень напряжения, с другой стороны, может возникать так называемый фликкер-эффект, т.е. незатухающие быстрые колебания напряжения. При наличии преобразователей в системе могут возникать проблемы высших гармоник в электрической сети. Может также происходить увеличение токов короткого замыкания, усложняется диспетчерское управление, растет сложность систем защиты и противоаварийного управления. Все эти проблемы в настоящее время находятся в стадии решения.

Расчеты проведенные в 2004 году в Беларуси показали экономическую целесообразность строительства (или восстановления) малых ГЭС с суммарной мощностью до 270 МВт [1].

В настоящее время, при значительном увеличении стоимости электроэнергии, рассматривается вопрос о строительстве сотен МГЭС.

В начале этого крупномасштабного строительства следует всесторонне исследовать все возможные аспекты конструктивного исполнения, эксплуатации и управления этими объектами.

При реконструкции Саковщинской ГЭС на реке Березина Воложинского района предусмотрено применение 3-х синхронных генераторов СГИ 75-22, мощностью 75 кВт.

В качестве щита управления применен ЩУИ-75 УЗ. Щит обеспечивает управление, контроль и защиту цепей генератора и вспомогательных цепей управления МГЭС в том числе: включение генератора; защиту генератора от токов к.з. на шинах после генераторного выключателя, от обратного потока мощности (реализовано на реле РМ12), от перегрузок по току; защиту от к.з. в цепи собственных нужд; защиту установки при превышении напряжения и частоты свыше установленных значений; измерение сопротивления изоляции цепи возбуждения и защиту установки при снижении сопротивления ниже ус-

тановленного значения; измерение температуры составных частей генератора; коммутацию цепи по аварийному включению заслонки и др.

Все функции управления, контроля и защиты выполнены с использованием релейных схем. В данном проекте реконструкции не предусмотрены средства дистанционного управления оборудованием МГЭС.

Хотелось бы также отметить, что на данной МГЭС не предусмотрены мероприятия по компенсации реактивной мощности, хотя синхронные генераторы могут служить как в качестве источников, так и в качестве потребителей реактивной мощности [2].

При применении на МГЭС микропроцессорных систем управления и защиты, например предлагаемых авторами [3,4], значительно повысится качество и надежность управления оборудованием, уменьшатся эксплуатационные затраты, появляется возможность дистанционного управления режимом работы оборудования, регулирования потоков реактивной мощности в сети по величине и направлению и др.

#### Литература

1. Поваляев, М. Своя ГЭС? А почему бы и нет? / М. Поваляев // Экономическая газета. – 2004. – 13 апр. – С. 4.
2. Брускин, Д.Э. Электрические машины [Текст] / Д.Э. Брускин, А.Е. Зорохович, В.С. Хвостов. — М. : Высшая школа, 1987.
3. Пат. 882 Республика Беларусь, МПК H02J3/18, H01F21/00, G05B13/02. Устройство для управления оборудованием трансформаторной подстанции [Текст] / В.П. Счастный, А.И. Зеленькевич, А.И. Жуковский, Е.И. Зеленькевич; заявитель и патентообладатель БГАТУ. – № u20020245; заявл.27.08.2003; опубл. 30.06.2003, Бюл.№2(37). – с. 277: ил.
4. Счастный, В.П. Повышение экономичности системы электроснабжения сельскохозяйственных потребителей [Текст] / В.П. Счастный, А.И. Жу-

ковский, А.И. Зеленкевич // Энергосбережение. Электроснабжение. Автоматизация: материалы международной научно-технической конференции. – Гомель: УО «ГГТУ им. Сухого», 2001. – С.31-33.

## **АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТРАНСФОРМАТОРАМИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Трушников А.Л., Радкевич В.Н.

УО «Белорусский национальный технический университет», г. Минск

В системах электроснабжения производственных предприятий эксплуатируется большое число силовых трансформаторов, большинство из которых - это трансформаторы с первичным напряжением 6-10 кВ. Режимы работы этих трансформаторов в значительной мере обусловлены технологическим процессом конкретного производства. В зависимости от объема производимой продукции и сезонности работы предприятия нагрузки трансформаторов колеблются в широких пределах - от холостого хода до перегрузок отдельных трансформаторов. Поэтому трансформаторы 6-10/0.4 кВ в первую очередь нуждаются в повышении эффективности их использования путем своевременного изменения числа работающих трансформаторов, так как трансформаторы с первичным напряжением 35 кВ и выше с целью снижения потерь электроэнергии во многих случаях отключать недопустимо по требованиям надежности электроснабжения потребителей.

Эффективная и надежная работа силовых трансформаторов возможна лишь при четком соблюдении всех требований нормативно-технической документации и руководств по эксплуатации конкретных трансформаторов. Для этого необходимо соблюдать установленные температурные режимы и уровни напряжения, контролировать максимальные нагрузки в нормальных и послеаварийных режимах, отслеживать график нагрузки, в зависимости от которого определять и соблюдать оптимальное число работающих трансформаторов в целях снижения потерь мощности и электроэнергии и т.д. Необходимо отме-

тить также, что некоторые требования правил технической эксплуатации силовых трансформаторов неоднозначны и трудноосуществимы в полном объеме без мониторинга режимных параметров. Это в первую очередь относится к определению допустимых перегрузок трансформаторов и к обеспечению их температурных режимов [1].

Относительно компактное расположение цеховых трансформаторных подстанций и стабильность схем распределения электроэнергии в системах электроснабжения производственных предприятий по сравнению с электрическими сетями 6-10 кВ энергосистемы, являются благоприятными факторами для внедрения в системах электроснабжения телемеханических автоматизированных систем с функциями измерения, управления и сигнализации.

Для автоматизированной оптимизации режимов работы силовых трансформаторов производственных подстанций предлагается применить совместно теоретический аппарат оптимизации и программно-аппаратный управляющий комплекс (ПАУК). Теоретический аппарат оптимизации - это, прежде всего, некий критерий оптимальности, формализованный с помощью математической модели оборудования, эксплуатацию которого предполагается оптимизировать. Применительно к силовым трансформаторам производственных объектов в качестве критерия оптимальности можно принять минимум потерь электроэнергии за рассматриваемый период эксплуатации, так как стоимость потерь электроэнергии входит в энергетическую составляющую себестоимости продукции.

ПАУК в свою очередь, обеспечивает функции измерения всех необходимых параметров, программную реализацию алгоритма управления, выработку управляющих воздействий, накопление и, возможно, анализ накапливаемых статистических данных.

#### Литература

Трансформаторы силовые масляные общего назначения. Допустимые нагрузки: ГОСТ 14209-85. - Введ. 01.07.85. - Москва: Издательство стандартов, 1985. - 30 с.

## ЭКОНОМИЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДУГОВОЙ НАПЛАВКИ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ С БОЛЬШИМ ИЗНОСОМ

В.В. Хроленок, П.Н. Логвинович

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск

В АПК используется огромное количество машин и механизмов. При эксплуатации их детали подвергаются различного вида износу и требуют замены. Технологии дуговой наплавки (ДН) широко применяются для восстановления деталей с большим износом, свыше 3 - 4 мм, что позволяет продлить сроки эксплуатации деталей, а значит увеличить ресурс машин и технологического оборудования. Общий экономический спад в странах СНГ привел к снижению выпуска наплавочных материалов и значительному возрастанию цен на них, в связи с этим существует необходимость в разработке и совершенствовании способов ДН, обеспечивающих требуемое качество наплавленного металла при использовании дешевых материалов. Для внедрения на ремонтных предприятиях АПК при восстановлении деталей с большим износом представляются перспективными следующие способы ДН [1, 2]:

- способ автоматической дуговой наплавки (АДН) в среде углекислого газа с охлаждением потоком жидкости (ОЖ) наплавленного валика;
- способ дуговой наплавки неподвижным пластинчатым электродом (ДН НПЭ) под флюсом с применением дополнительного присадочного материала (ДПМ).

Качество наплавленного данными способами металла зависит от многих факторов: химического состава материала электродов, основного металла и ДПМ, режима наплавки, места подвода и расхода ОЖ и т.д., что требует проведения исследований для разработки технологий восстановления деталей с необходимыми свойствами наплавленных поверхностей.

Нами исследовался метод АДН в среде углекислого газа с поперечными колебаниями электрода и ОЖ наплавленного валика. Наплавка производилась на токе обратной полярности проволоками Св-08Г2С и Нп-30ХГСА диаметром

1,2 и 2 мм на режимах с «общей» сварочной ванной. Диапазон изменения основных режимных параметров: напряжение на дуге - 20-30 В; ток сварки - 130-350 А; амплитуда колебаний электрода - 5-15 мм; скорость наплавки - 2,5-5 мм/с; расход ОЖ ( 5% раствор  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) 0,5- 2,5 л/мин; расстояние от электрода до места подвода ОЖ - 20-40 мм. Проводились замеры твердости и исследовалась структура наплавленного металла и зоны термического влияния. Показано, что данный метод позволяет получать наплавленный металл хорошего качества, без пор и трещин с твердостью поверхностного слоя в пределах 20-50 HRC, регулируемой изменением интенсивности ОЖ, которое влияет на процессе кристаллизации и, соответственно, структуру наплавленного слоя, обуславливающим физико-механические и эксплуатационные свойства наплавленной детали. Результаты проведенных исследований были использованы для разработки технологического процесса восстановления бегущей дорожки звена гусеницы трактора Т-130. Твердость поверхностного слоя металла, наплавленного АДН с ОЖ проволокой Нп-30ХГСА, составляет 46-50 HRC. Наплавленные детали имели гладкую поверхность без пор и трещин и не требовали механической обработки..

Метод ДН НПЭ, при котором на наплавляемую поверхность изделия наносят слой флюса, на него укладывают электрод, на электрод последовательно насыпают присадочный материал и слой флюса, подводят напряжение к изделию и одному концу электрода, а на другом возбуждают дугу. В результате (за счет самопроизвольного распространения дуги вдоль электрода) на изделии образуется наплавленный слой металла, соответствующий ширине электрода. Для получения специальных свойств наплавленного металла (износостойкости, коррозионной стойкости и др.) в качестве ДПМ на электроде могут помещаться порошки, пластины или прутки соответствующего химического состава. Способ отличается фактической автоматизацией процесса без использования специальных сварочных автоматов, стабильностью качества наплавки независимо от квалификации сварщика, высокой производительностью.

Нами исследовано влияние основных технологических параметров процесса ДН НПЭ на распространения дуги по электроду и формирование наплавленного слоя. Установлены рациональные режимы наплавки для электродов толщиной 2-4 мм. Показано, что применение различных ДПМ позволяет регулировать твердость наплавленного металла от 20 до 55-60 ед. HRC. Разработана приближенная модель расчета формирования наплавленного валика и химического состава наплавленного металла. Анализ результатов моделирования и экспериментальных данных показывает, что результаты расчетов удовлетворительно описывают геометрию наплавленных валиков, соответствуют представлениям о влиянии химического состава наплавленного металла на его твердость. Техничко-экономические расчеты показали, что по сравнению с ручной дуговой наплавкой покрытыми электродами наплавка НПЭ с ДПМ обеспечивает сокращение потребления электроэнергии на 15 – 20%, за счет повышения коэффициента наплавки; экономию сварочных материалов на 20-30%, за счет снижения припуска на механическую обработку наплавленной поверхности и потерь сварочных материалов; повышение производительности наплавки деталей в 2-2,5 раза; снижение себестоимости восстановления деталей на 20-30 %

#### Литература

1. Хроленок В.В., Белая Е.Н., Никитина А.С. К восстановлению деталей машин дуговой наплавкой плавящимся электродом в среде углекислого газа с одновременным охлаждением наплавочного валика потоком жидкости / Сварка и родственные технологии: сб. науч. трудов - Мн: Тонпик, 2001. №4. - С. 83-88
2. Хроленок В.В., Никитина А.С., Яркович А.М. Исследование дуговой наплавки поверхностей неподвижным плавящимся электродом с применением порошковых присадочных материалов / Сварка и родственные технологии: сб. науч. трудов - Мн: Тонпик, 2005, №7. - С. 66-70.

## ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

В.М. Благодарный, Кочурко В.И.,

УО «Барановичский государственный университет», г. Барановичи

Потребление энергии непрерывно нарастает. В течение 2001-2025 г.г. ожидается рост еще на 60-70%. В связи с этим будет расти потребление нефти, газа и угля. Необходимо также отметить, что заводы и хозяйства страны пока не работают в полную силу. Следовательно, с подъемом и развитием хозяйства потребление энергии должно возрасти. Цена энергии непрерывно увеличивается, возникают сложности с поступлением газа и нефти. Поэтому перед страной стоит серьезная и актуальная задача отыскания новых альтернативных источников тепловой энергии с обеспечением безопасности окружающего пространства.

С другой стороны, не менее важной и актуальной проблемой является утилизация промышленных и бытовых отходов, количество которых увеличивается с катастрофической скоростью. Переработкой отходов и их использованием в настоящее время успешно занимаются во многих цивилизованных странах. В Белоруссии массовое использование промышленных и бытовых отходов для производства электро- и тепло-энергии – это не только экономический и стратегический вопрос, но и не в меньшей степени вопрос и экологический. Возобновляемые источники энергии являются перспективным источником энергии, их потенциал лимитирован природными условиями. Использование возобновляемых источников энергии имеет однозначно преимущество в том, что не образуют  $\text{CO}_2$  и не выпускает эмиссию  $\text{SO}_2$  и  $\text{NO}_x$ . Другим, не менее значительным преимуществом этих источников энергии является появление новых возможностей для малого и среднего предпринимательства при увеличении конкурентоспособного производства, при решении локальных энергетических задач, разработке новых производственных программ в промышленности, использо-

вании малопродуктивных и поврежденных эмиссией земель, поддержке региональной политики и т.д.

Наиболее интенсивно в настоящее время развивается такая отрасль как производство растительных и древесных брикетов. Производство брикетов - это как раз то решение, которое позволяет, с одной стороны, получить новый экологически чистый источник тепловой энергии и, с другой стороны, использовать с пользой огромное количество древесных и растительных отходов. Энергетическая эффективность (теплотворность) и экологическая чистота являются главными преимуществами этого топлива. Биомасса в виде растительных и древесных отходов является химически законсервированной солнечной энергией. Это практически один из наиболее универсальных и распространенных источников энергии на Земле. Можно использовать их не только для производства тепла, но и на производство электричества.

Непосредственным продуктом этих процессов является тепло, используемое прямо на месте производства или вблизи его. Тепло используется или для подогрева воды или для производства пара с последующим его использованием для привода электрогенератора и производства электричества. Другими продуктами являются, например, древесный уголь или жидкое топливо для привода двигателей. Традиционный способ производства биомассы в большинстве случаев основан на прямом сжигании и получении пара с последующим использованием для привода турбины, т.е. так, как это делается на электростанциях, работающих на угле. Недостатком такой технологии является низкая эффективность. Вместо прямого сжигания биомассы вырабатывается из нее биогаз, который далее используется для привода турбины, работающей на газе. Преимущества этой технологии в том, что эффективность здесь значительно выше, коэффициент полезного действия составляет 65-70%. Кроме того, инвестиционные расходы при этой технологии сравнительно ниже. Выработанное сырье в конечном складе является жидкостью и имеет характер удобрения. Является незаменимым и выгодным продуктом, возникающим при данной техно-

логии. Пиролизом – молекулярным разложением веществ при определенных, точно установленных условиях, можно вырабатывать газ, пригодный для переработки в газогенераторных блоках, а также в микротурбинах, то есть вырабатывать газ, пригодный для газогенерации или тригенерации, либо для производства электроэнергии и тепловой энергии, либо для охлаждения или пара.

Основой пиролизной линии является реактор, в котором при вакууме и соответствующей температуре происходит разложение поступившего сырья на пиролизный газ. Кроме того, возникает и часть отходов – почти 3% древесного угля, 1% чистого углерода в виде свободного порошка и 1% воды (в зависимости от вида поступившего сырья).

Энергия ветра ежегодно в мире, а особенно в Европе, считается важным и перспективным источником обеспечения энергетических нужд. Она способна обеспечить более 10% всех энергетических потребностей.

Из 2% энергии Солнца, попадающей на Землю, почти  $10^{20}$  джоулей превращается в энергию ветра. Из этого количества энергии можно использовать каждую секунду почти  $10^{15}$  джоулей. Оптимальная скорость ветра, используемая в настоящее время в ветряных установках, обычно в пределах от  $2,5 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$  до  $12 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ . Скорости до  $2,5 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$  и выше  $25 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$  не используются. Скорости ниже  $2,5 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$  недостаточны для раскрутки ротора ветряной установки, скорости выше  $25 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$  опасны для ветряных установок, поэтому при таких скоростях ветряная установка должна быть остановлена.

Энергетический баланс нашей планеты зависит главным образом от солнца. На один квадратный метр земной поверхности при безоблачной погоде падает солнечное излучение мощностью 1000 Вт. При этом оно превращается в тепло и химическую энергию. Из 8760 часов в году примерно 1200-1500 бывают солнечными, причем две трети из них падает на летние месяцы. На юге Европы число солнечных часов возрастает на 50-75%.

В зависимости от того, используется ли солнечная энергия непосредственно или же с помощью технических средств, можно говорить о пассивном или

активном ее использовании. Пассивное использование солнечной энергии – это решения, на основе которых солнечное излучение непосредственно используется для нагревания помещений, например, через окна, направленные на юг; зимние парки, которые можно реализовать в новостроящихся домах. Активное использование солнечной энергии предусматривает применение технических средств, например, коллекторов для нагревания теплой воды, солнечных элементов (фотоэлементов) для производства электричества, применение тепловых насосов для перекачивания теплого воздуха или теплой воды в помещения.

Водоворот в природе - это прямое следствие солнечного излучения, позволяющее бесконечно использовать солнечную энергию, содержащуюся в воде и в разных ее видах. Вода с самого начала развития цивилизации на Земле служила первейшим источником энергии для человека. Чаще всего используемым видом энергии является кинетическая энергия водных потоков, которую человечество использовало для производства различных механических работ, а позднее и для производства электроэнергии. Гидроэнергетический потенциал является природным богатством каждой страны. Его использование для производства электрической энергии на гидроэлектростанциях определяет главным образом условия и степень хозяйственного, технического и общественного развития соответствующей страны.

Оптимальная концепция использования гидроэнергетического водного потока или его участка зависит от морфологических, гидрологических и геологических особенностей в данной местности.

Белоруссия богата реками и озерами, однако, поверхность республики в основном равнинная. Поэтому для строительства водных электростанций необходимо строительство плотин и заграждений, чтобы получить перепады воды, которая бы вращала лопасти электрогенераторов. В связи с этим целесообразно строительство малых гидроэлектростанций, обеспечивающих нужды небольших поселков, деревень и хозяйств.

Геотермальная энергия в принципе не является возобновляемым источником энергии, поскольку возникает в горячих недрах Земли, из которой тепло выходит через вулканические трещины в горных породах. Геотермальная энергия в большинстве случаев применяется для отопления таких объектов, как жилые дома, бассейны, теплицы. Недостатком, который часто мешает широкому использованию геотермальной энергии, является наличие в воде большого количества солей.

Особую группу составляют так называемые тепловые установки, которые собирают тепло из окружающего пространства и используют его на нужды обогрева или нагревания теплой бытовой воды. В качестве окружающих источников тепла тепловые установки используют низкопотенциальные источники такие, как земля, воздух, вода и солнечная энергия.

## **БИОГАЗ И ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЕ**

Петер Горбай

Технический университет, г. Кошице, Словакия

Газы сопровождают человека в ходе истории его существования на нашей планете, начиная с древнейших времен и до сегодняшнего дня. Возле воздушной оболочки планеты Земля, состоящей из водорода и кислорода, обуславливающей существование жизни на Земле, огромной составляющей является газ метан  $\text{CH}_4$ . Метан является доминантной составляющей природного газа (содержание метана в природном газе составляет около 76-99%), месторождения которого находятся на всех континентах и в прибрежных шельфах. Наибольший процент метана имеется, например, в природном газе, поступающим из Российской Федерации (около 96-98%), а более низкий процент (76-86%) в некоторых видах природного газа, добываемого, например, в Норвегии и в сопутствующих газах при добычании нефти. Некоторые ориентировочные данные приведены в следующей таблице.

Таблица 1. Ориентировочные данные о теплоте сгорания, теплотворности и содержании метана в природном газе

Вид топлива	Теплота сгорания [MJ/m <sup>3</sup> ]	Теплотворная способность [MJ/m <sup>3</sup> ]	H <sub>2</sub> [% obj]	CH <sub>4</sub> [% obj]
Природный газ в России	39,85	35,93	-	98,1
Экофиск-Норвегия	44,53	40,32	-	85,8
Гасси R- Алжир	46,08	41,83	-	76,0

Причиной более высокого содержания метана в русском газе является фильтрация этана, пропана, бутана и других углеводородов перед транспортировкой в Европу. Поэтому теплота сгорания природного газа из Норвегии и Алжира более высокая.

Подробный анализ энергетического потребления в Словацкой республике показал, что в сравнении с передовыми странами промышленность Словацкой республики потребляет энергию почти в 2-3 раза больше.

Одной из возможностей экономии топлива является использование обновительных — современных источников энергии. Анализ используемого потенциала вторичных источников показал, что его значимость в условиях Словацкой республики имеет главным образом локальный, часто региональный характер, поэтому необходимо создавать условия для их максимального использования. В связи с этим одной из целей энергетической политики каждого государства является восполнение прироста в потребности энергии использованием обновительных источников энергии в максимальной мере и внедрение комбинированных способов производства электрической энергии, тепла и холода.

Для местных хозяйств одной из возможных форм повышения эффективности сельскохозяйственной общины, фермы, лесного завода, малых и средних промышленных предпринимателей и т.п., использование биологического материала, который возникает в животноводстве, возникает как отходы при разра- ботке древесной массы, как коммунальные, соответственно промышленные от-

ходы и т.п., для производства биогаза, соответственно тепла и электричества с помощью когенерационных блоков.

Использование отходов, навоза хозяйственных животных, древесных отходов с разработок и переработок дерева является очень эффективным обновительным источником энергии. Вопросами технологии производства и последующего использования энергии, полученной из биомассы, уделяют большое внимание не только в нашей стране, но главным образом в передовых странах.

Биогаз, который возникает в процессе анаэробной ферментации, является источником не только тепловой энергии (используемой на его прямое сжигание), но после последующей переработки и электрической энергии, соответственно, холода. Полученный биогаз возможно использовать двумя способами. В первом случае часть полученного биогаза идет на обогрев теплой бытовой воды, необходимой самой ферме для мытья, чистки, отопления и т.п. Для лучшего использования биогаза можно разработать систему тепличного хозяйства, которое забирает существенную часть полученного биогаза, главным образом, в зимнее время, весной и частично в осенний период. Теплица большой площади, разделенная на части в направлении от окружности к центру, позволяет в центральных частях выращивать необходимые культуры, повысить занятость в районе построенной теплицы, а полученная продукция повышает полную эффективность задуманного дела.

Неиспользованное тепло можно использовать в устройствах для сушки фруктов или овощей. Такие сушилки требуют низкокалорийное тепло, которое возникает в процессе сжигания газа при подогревании теплой бытовой воды или при производстве электрической энергии.

Другим фактором эффективности таких проектов является продукция биогумуса. Он является одним из наилучших видов удобрения, которое можно использовать не только в рассматриваемой выше теплице, но и продавать дачникам и сельскохозяйственным организациям. Рассматриваемое удобрение заменяет дорогие, а часто и вредные искусственные удобрения. Более того, это

удобрение прошло термическую обработку, и в отличие от классического навоза в нем устранены зародыши и семена сорняков и вредных растений.

В летнее время биогаз получают с меньшими расходами, и на отопление его надо меньшее количество. Поэтому расширяются комплексы систем производства электрической энергии. Полученная электрическая энергия используется в технологии хозяйства, а излишки продаются в распределительную сеть. В настоящее время законом установлена обязанность распределительных электрических сетей покупать произведенную электрическую энергию. В случае строительства газгольдеров, предназначенных для сбора еженедельного производства биогаза, можно в распределительную сеть подавать электричество в час пик. В этом случае можно улучшить баланс всей электрической системы даже в зимнее время. Речь идет о продаже электрической энергии во время дневного пика и покупке дешевой энергии в ночное время. Разница в цене позволяет улучшить финансирование всего проекта.

На лесных разработках и у частных собственников лесных насаждений выгодным источником энергии является лесная масса отходов, которая в настоящее время остается лежать на местах разработки древесного материала.

Речь идет об использовании разных фракций древесной массы, либо на прямое сжигание, на получение тепла в домах и административных зданиях, или же при производстве брикетов, продаваемых в качестве топлива другим потребителям.

В настоящее время имеется много фирм, которые занимаются проектированием технологических устройств, предназначенных для получения энергии из обновительных источников энергии. Идет речь о больших проектных фирмах, которые работают в области строительства и ремонта очистных сооружений, которые занимаются установкой технологических устройств, строительством технологических объектов и т.п. Приведенные фирмы способны выступать в качестве финальных поставщиков комплексных технологий в области очистки коммунальных вод, стальных конструкций, обогревательных систем, маши-

ностроительных конструкций для деревообрабатывающей промышленности и т.п., включая изготовление проектной документации.

Биогазом можно назвать всякий вид газа, который возникает в результате микробного анаэробного процесса. К производству биогаза (шламовый биогаз, биогаз со свалки) впервые приступили в 1890 г. в Англии при очистке городских канализационных систем, а в 1924 г. в Германии. В настоящее время биогаз получают с больших свалок коммунальных и промышленных отходов. Большинство эксплуатирующихся устройств перерабатывают отходы животноводства и сельскохозяйственного производства, между тем как переработка растительных отходов в большинстве случаев была направлена на получение протеина и алкоголя.

Анаэробный процесс основан на действии двух групп бактерий, которые разлагают органическую массу во многих стадиях:

1. Анаэробная стадия.
2. Анаэробная ацидогенная стадия.
3. Анаэробная метаногенная стадия.

## **ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ПРОЦЕССОВ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМОЙ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРА ЗА СЧЕТ ОПТИМИЗАЦИИ ФИЛЬТРАЦИИ**

Добролюбов И.П., Савченко О.Ф.,

Сибирский физико-технический институт аграрных проблем, г. Новосибирск

При определении технического состояния дизель-генератора измерительной экспертной системой (ИЭС) [1-4] важно адекватное представление измеряемых процессов объекта экспертизы (ОЭ). При съеме информации с датчиков производится предварительная обработка сигналов с целью выделения информативных признаков и защиты от помех. Одной из важнейших операций такой

обработки является фильтрация сигналов. При этом решается оптимизационная задача исходя из противоречий между необходимостью точного без потерь измерения процесса и помехозащищенности этого измерения.

В общем случае задача фильтрации формулируется следующим образом. Наблюдается процесс  $r(t)$ , являющийся известной детерминированной функцией от полезного сигнала  $s(t, \bar{\lambda})$  и некоторой помехи  $n(t)$ . Полезный сигнал  $s(t, \bar{\lambda})$  есть функция времени  $t$  и многокомпонентного параметра (информации, сообщения)  $\bar{\lambda}(t) = \{\lambda_1(t), \dots, \lambda_n(t)\}$ , представляющего векторный случайный процесс. Сигнал является известной функцией аргументов  $t$  и  $\bar{\lambda}$ , известными считаются все необходимые вероятностные характеристики случайного процесса  $\bar{\lambda}(t)$  и помехи  $n(t)$ . Общая задача заключается в том, чтобы на основании априорных сведений и по наблюдаемой реализации процесса  $r(t)$  для каждого момента времени  $t$  сформировать апостериорную плотность вероятности сообщения  $\bar{\lambda}(t)$ . В большинстве случаев требуется получить текущую оценку  $\bar{\lambda}^*(t)$ , наилучшую в смысле критерия минимума среднего риска. Различают несколько модификаций задачи построения оценок. При наблюдении процесса  $r(t)$  на текущем интервале времени  $[0, t]$  ищется оценка  $\bar{\lambda}^*(t + \tau)$ : если  $\tau = 0$ , имеет место задача *текущей фильтрации*; если  $\tau > 0$ , — задача фильтрации с предсказанием, или задача *экстраполяции*; при  $\tau < 0$  — задача фильтрации с запаздыванием, или задача *интерполяции*.

Критерии оптимальности, используемые в теории фильтрации, при фиксированном значении  $t$  совпадают с критериями теории статистических оценок. Априорные сведения о вероятностных характеристиках параметра  $\bar{\lambda}(t)$  и помехи  $n(t)$  задаются либо в форме многомерных плотностей вероятности, либо в виде дифференциальных уравнений с заданными начальными условиями.

С достаточной точностью для каждого измерительного канала ИЭС можно принять измеряемый процесс  $r(t)$  в виде

$$r(t) = s[t, \lambda(t)] + n(t), \quad (1)$$

где  $n(t)$  — гауссовский белый шум с нулевым средним значением и  $\delta$ -функцией корреляции:  $M\{n(t)\}=0$ ;  $R(\tau)=M\{n(t_1)n(t_2)\}=(N_0/2)\delta(t_1-t_2)$ .

Для одного измерительного канала полагаем, что информационный параметр  $\lambda(t)$  представляет однокомпонентный случайный процесс и формируется из белого гауссовского шума  $n_\lambda(t)$ , имеющего характеристики:  $M\{n_\lambda(t)\}=0$ ;

$R_\lambda(\tau)=M\{n_\lambda(t_1)n_\lambda(t_2)\}=(N_\lambda/2)\delta(t_1-t_2)$ ;  $N_\lambda/2$  - спектральная плотность процесса  $n_\lambda(t)$ . Формирование информации  $\lambda(t)$  определяется дифференциальным уравнением

$$d\lambda(t)/dt=K_1(t, \lambda(t))+n_\lambda(t); \lambda(0)=\lambda_0, \quad (2)$$

где  $K_1(t, \lambda(t))$  — известная функция аргументов  $t$  и  $\lambda$ .

В зависимости от вида уравнения наблюдения (1) и уравнения сообщения (2) различаются два класса задач фильтрации: *линейная фильтрация*, если уравнения (1) и (2) являются линейными относительно  $\lambda(t)$ ; *нелинейная фильтрация*, если уравнение (1) или (2) содержит нелинейные функции сообщения  $\lambda(t)$ .

Случайный процесс  $\lambda(t)$  является диффузионным марковским процессом, априорная плотность вероятности  $w(t, \lambda(t))$  которого определяется уравнением Фоккера-Планка-Колмогорова (ФПК):

$$\frac{\partial w(t, \lambda)}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial \lambda}[K_1(t, \lambda)w(t, \lambda)] + \frac{1}{2} \frac{\partial^2}{\partial \lambda^2} K_2(t, \lambda)w(t, \lambda) \equiv \Phi[w(t, \lambda)]; \quad (3)$$

$$\frac{\partial w(t, \lambda)}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial \lambda}[K_1(t, \lambda)w(t, \lambda)] + \frac{1}{2} \frac{\partial^2}{\partial \lambda^2} [N_\lambda w(t, \lambda)] \equiv \Phi[w(t, \lambda)],$$

где  $K_1$  и  $K_2(t, \lambda) = N_\lambda w(t, \lambda)$  - коэффициенты сноса и диффузии; через  $\Phi[\cdot]$  обозначен оператор ФПК.

Апостериорная плотность вероятности  $w_{ps}(t, \lambda)$  однокомпонентного марковского процесса  $\lambda(t)$  удовлетворяет уравнению Р.Л. Стратоновича:

$$\frac{\partial w_{ps}(t, \lambda)}{\partial t} = \Phi[w_{ps}(t, \lambda)] + [F(t, \lambda) - M\{F(t, \lambda)\}]w_{ps}(t, \lambda), \quad (4)$$

где  $F(t, \lambda) = -\frac{1}{N_0} [r'(t) - s(t, \lambda)]^2$ ;  $M\{F(t, \lambda)\} = \int_{-\infty}^{\infty} F(t, \lambda)w_{ps}(t, \lambda)d\lambda$ .

Начальные условия для уравнения (4) определяются априорной плотностью вероятности  $w(0, \lambda)$  начальной координаты сообщения  $\lambda(0) = \lambda_0$ .

Апостериорная плотность вероятности  $w_{ps}(t, \lambda)$  содержит всю доступную информацию о параметре  $\lambda(t)$ , которую можно извлечь из наблюдения  $r(t)$  на интервале  $[0, t]$  и из априорных сведений о  $\lambda(t)$ . Определив апостериорную плотность  $w_{ps}(t, \lambda)$ , можно получить другие требуемые характеристики, например условное математическое ожидание  $\lambda^*(t)$ , представляющее оптимальную оценку сообщения по критерию минимума среднего квадрата ошибки или оценку, оптимальную по критерию максимума апостериорной вероятности.

При линейной фильтрации на выходе измерительного канала наблюдается смесь  $r(t) = \lambda(t) + n(t)$ , где процесс  $\lambda(t)$  задан линейным уравнением

$$d\lambda(t)/dt = -a\lambda(t) + n_\lambda(t), \quad (5)$$

где  $a$  — постоянный коэффициент, определяющий ширину спектра сообщения  $\lambda(t)$ ;  $K_1(t, \lambda) = -a\lambda(t)$ ;  $K_2(t, \lambda) = N_\lambda/2$ .

Процесс  $\lambda(t)$ , заданный уравнением (5), может быть сформирован из белого шума  $n_\lambda(t)$ , характеристики которого известны. В качестве формирующего фильтра можно использовать RC-фильтр нижних частот с постоянной времени  $T = RC = 1/a$  (например,  $T$  — постоянная времени диодя или его элемента).

При линейной фильтрации  $\lambda(t)$  апостериорная плотность вероятности  $w_{ps}(t, \lambda)$  представляется гауссовским законом с параметрами: математическим ожиданием  $m_\lambda(t)$  и дисперсией  $\sigma_\lambda^2(t)$ . Тогда, согласно (4):

$$d\lambda^*(t)/dt = -a\lambda^*(t) + \sigma_\lambda^2(t) [\partial F(t, \lambda^*) / \partial \lambda^*]; \quad (6)$$

$$-d\sigma_\lambda^2(t)/dt = (N_\lambda/2) - 2a\sigma_\lambda^2(t) + \sigma_\lambda^4(t) [\partial^2 F(t, \lambda^*) / \partial \lambda^{*2}]. \quad (7)$$

Уравнение (6) определяет алгоритм формирования оптимальной оценки, а уравнение (7) — эволюцию апостериорной дисперсии. Эти уравнения можно преобразовать с учетом соотношений (5) и (7). Так как

$$F(t, \lambda^*) = (-1/N_0) [(r(t) - \lambda^*(t))^2]; \quad \partial F(t, \lambda^*) / \partial \lambda^* = (2/N_0) [r(t) - \lambda^*(t)]; \quad \partial^2 F(t, \lambda^*) / \partial \lambda^{*2} = -2/N_0,$$

то 
$$d\lambda^*(t)/dt = -a\lambda^*(t) + \sigma_{\lambda}^2(t)(2/N_0)[(r(t) - \lambda^*(t))]; \quad (8)$$

$$d\sigma_{\lambda}^2(t)/dt = (N_{\lambda}/2) - 2a\sigma_{\lambda}^2(t) - \sigma_{\lambda}^4(t)(2/N_0). \quad (9)$$

Уравнения (8) и (9) описывают фильтр Калмана для непрерывного времени [5]. Причем для стационарного режима  $\sigma_{\lambda}^2 = aN_0 \left( \sqrt{1 + (N_{\lambda}/2a^2N_0)} - 1 \right)$ .

Постановка задачи фильтрации в дискретном времени состоит в следующем. Измеряемый процесс и сообщение (полезная информация) задаются скалярными разностными уравнениями:  $r_v = H_v \lambda_v + n_v$ ;  $\lambda_v = \beta_{v-1} \lambda_{v-1} + n_{\lambda v}$ , где  $n_v$ ,  $n_{\lambda v}$  — гауссовские шумы с нулевыми средними значениями и дисперсиями  $D_v$  и  $D_{\lambda v}$  соответственно;  $H_v = H(t_v)$ ,  $\beta_v = \beta(t_v)$  — заданные функции времени; интервал времени  $t_v - t_{v-1} = \Delta t$  определяется временем дискретизации процессов. Уравнения для оценки  $\lambda^*$  и дисперсии  $\sigma_{\lambda v}^2$  определяют *дискретный фильтр Калмана* и носят рекуррентный характер (рис. 1, здесь  $K_v = H_v (\sigma_{\lambda v}^2 / D_v)$ ):

$$\lambda_v^* = \beta_{v-1} \lambda_{v-1}^* + H_v (\sigma_{\lambda v}^2 / D_v) (r_v - H_v \beta_{v-1} \lambda_{v-1}^*); \quad (10)$$

$$1/\sigma_{\lambda v}^2 = (\beta_{v-1}^2 \sigma_{\lambda v-1}^2 + D_{\lambda v})^{-1} + (H_v^2 / D_v). \quad (11)$$

Уравнения (9) и (11) не зависят от процесса  $r(t)$ , поэтому коэффициент  $K(t_v) = K_v$  может быть заранее вычислен, т.е. представляет известную функцию времени. При постоянных значениях величин  $\beta_v$ ,  $D_v$ ,  $D_{\lambda v}$ ,  $H_v$  и при условии существования установившегося значения дисперсии  $\sigma_{\lambda v}^2 = \lim_{v \rightarrow \infty} \sigma_{\lambda v}^2$  оценка  $\lambda^*_v$  равна:

$$\lambda^*_v = \beta \lambda^*_{v-1} + H (\sigma_{\lambda \infty}^2 / D_v) (r_v - H \beta \lambda^*_{v-1}). \quad (12)$$

Оценка в этом случае является асимптотически оптимальной (при  $t \rightarrow \infty$ ), а фильтр, описываемый уравнением (12), — стационарным. Такой фильтр проще в реализации, чем нестационарный, однако в течение переходного процесса дисперсия оценки в нем больше, чем в нестационарном оптимальном фильтре.

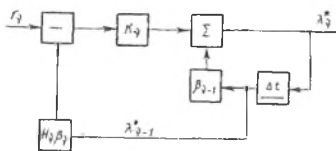


Рис. 1. Структурная схема дискретного фильтра Калмана

Приведенные результаты линейной фильтрации обобщаются на многомерный случай. При этом априорные сведения об измеряемых параметрах процессов (экс-

пертной информации) задаются системой стохастических дифференциальных уравнений:

$$d\lambda_i(t)/dt = a_{i1}(t)\lambda_1 + a_{i2}(t)\lambda_2 + \dots + a_{in}(t)\lambda_n + n_{\lambda i}(t); \quad i = \overline{1, n}. \quad (13)$$

Эти уравнения можно представить в виде одного векторно-матричного уравнения

$$d\bar{\lambda}/dt = [A(t)]\bar{\lambda} + \bar{n}_\lambda(t), \quad (14)$$

где  $\bar{\lambda} = \|\lambda_1, \dots, \lambda_n\|^T$  — вектор-столбец измеряемых параметров размерности  $n$ ;  $[A(t)]$  —  $n \times n$  матрица коэффициентов системы (13);  $\bar{n}_\lambda(t) = \|n_{\lambda 1}, \dots, n_{\lambda n}\|^T$  — вектор-столбец формирующих белых шумов с нулевыми математическими ожиданиями и матричной корреляционной функцией  $\bar{M}\{\bar{n}_\lambda(t)\bar{n}_\lambda^T(t+\tau)\} = \|N_\lambda(t)\|\bar{\delta}(\tau)$ ;  $\|N_\lambda(t)\|$  — симметрическая матрица деленных пополам спектральных плотностей.

Измеряемый процесс записывается в виде

$$\bar{r}(t) = [H(t)]\bar{\lambda}(t) + \bar{n}(t),$$

где  $\bar{r}(t)$  — вектор-столбец сигналов размерности  $m$  ( $m$  — число измерительных каналов);  $\|H(t)\|$  — матрица заданных функций сигналов размерности  $m \times n$ ;  $\bar{n}(t)$  — вектор-столбец аддитивных белых шумов размерности  $m$  с параметрами:  $M\{\bar{n}(t)\} = 0$ ;  $M\{\bar{n}(t)\bar{n}^T(t+\tau)\} = \|N_0(t)\|\delta(\tau)$ ;  $\|N_0(t)\|$  — симметрическая  $m \times m$  матрица спектральных плотностей, деленных пополам.

Уравнения оптимальной линейной фильтрации (с учетом (14)) имеют вид:

$$d\bar{\lambda}^*/dt = [A(t)]\bar{\lambda}^* + \|R\|\|H\|^T \|N_0\|^{-1} (\bar{r} - \|H\|\bar{\lambda}^*); \quad (15)$$

$$d\|R\|/dt = \|A(t)\|\|R\| + \|R\|\|A(t)\|^T - \|R\|\|H\|^T \|N_0\|^{-1} \|H\|\|R\| + \|N_\lambda\|, \quad (16)$$

где  $\|R\|$  — корреляционная матрица ошибок фильтрации.

**Пример.** Пусть  $\lambda$  представляет случайную, но постоянную скалярную величину, заданную уравнением  $d\lambda/dt=0$  (это частный случай уравнения (14) при

$\|A(r)\| \equiv 0$  и  $n_{\lambda} \equiv 0$ ). Имеются два измерительных канала с независимыми белыми шумами:  $r_1 = \lambda + n_1$ ;  $r_2 = \lambda + n_2$ . В данном случае справедливы следующие соотношения:

$$\bar{\lambda} = \lambda; \|H\| = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}; \bar{r} = \begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \end{bmatrix}; \|N_0\| = \begin{bmatrix} N_{01}/2 & 0 \\ 0 & N_{01}/2 \end{bmatrix}; \|R\| = R \equiv \sigma_{\lambda}^2.$$

Тогда  $\|R\| \|H\|^T \|N_0\|^{-1} = R \|2/N_{01} \ 2/N_{01}\|$ .

Уравнение оптимальной фильтрации (16) примет вид (рис. 2):

$$d\lambda^*/dt = \sigma_{\lambda}^2 [(2/N_{01})(r_1 - \lambda^*) + (2/N_{02})(r_2 - \lambda^*)] \quad (17)$$

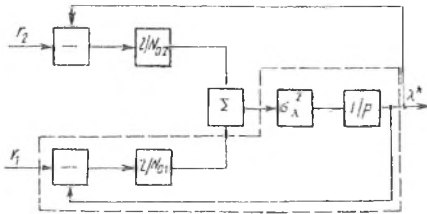


Рис. 2. Структурная схема оптимального фильтра ( $p=d/dt$  — оператор дифференцирования)

Усложнение схемы по сравнению с одномерным случаем (ему соответствует обведенная штриховой линией часть схемы) повышает точность фильтрации. В соответствии с уравнением (17)

$$d\sigma_{\lambda}^2/dt = -[(2/N_{01}) + (2/N_{02})]\sigma_{\lambda}^4.$$

Решение этого уравнения при начальном условии  $\sigma_{\lambda}^2(0) = \sigma_{\lambda 0}^2$  можно записать в виде

$$\sigma_{\lambda}^2(t) = \sigma_{\lambda 0}^2 / \{1 + \sigma_{\lambda 0}^2 [(2/N_{01}) + (2/N_{02})]t\}. \quad (18)$$

В установившемся режиме при  $t \rightarrow \infty$  имеем  $\sigma_{\lambda}^2 \rightarrow 0$ . По сравнению с одномерным случаем, соответствующим одноканальной обработке, в данном примере слагаемое в знаменателе дроби (18) содержит больший по величине коэффициент, поэтому текущие значения  $\sigma_{\lambda}^2(t)$  меньше.

*Влияние отклонений параметров фильтра на точность фильтрации.* При линейной фильтрации процесса, заданного уравнением (5), необходимо определить чувствительность характеристик полученного фильтра к отклонению его параметров от номинальных значений, определяемых решением задачи синтеза. Уравнение для оценки (8) можно представить в виде

$$d\lambda^*/dt = -a\lambda^* + k[r(t) - \lambda^*], \quad (19)$$

где  $k=2\sigma_\lambda^2(t)/N_0$  — коэффициент, постоянный в стационарном режиме. Вычтя (8) из уравнения (19) и, обозначив разность  $\lambda^* - \lambda = \varepsilon$ , получим

$$d\varepsilon/dt = -a\varepsilon - n_\lambda + k(n - \varepsilon) = -(a+k)\varepsilon + (kn - n_\lambda). \quad (20)$$

Откуда определяется дисперсия оценки:

$$\sigma_\varepsilon^2(t) = (k^2 N_0 + N_\lambda) / (4(a+k)). \quad (20)$$

Из формулы (20) следуют допустимые пределы изменения коэффициента

$$k=2\sigma_\lambda^2(t)/N_0. \quad \text{Минимальной дисперсии соответствует}$$

значение  $k_0 = a\{[1 + N_0/(a^2 N_\lambda)]^{1/2} - 1\}$ . При этом относительная ошибка фильтрации

$$\delta^2 = \sigma_\varepsilon^2(t)/D_\lambda = [1/(2q)](\sqrt{1+4q} - 1), \quad (21)$$

где  $D_\lambda = N_\lambda/(4a)$  — дисперсия сообщения (экспертной информации)  $\lambda(t)$ ;  $q = D_\lambda/(a N_0)$  — отношение сигнал/помеха (рис. 3).

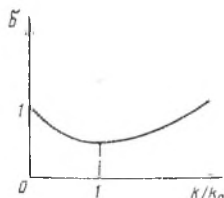


Рис. 3. Зависимость дисперсии оценки от коэффициента  $k$

Фильтры Калмана позволяют повысить точность при обработке измерительной экспертной информации, а также они эффективны в системах автоматического управления. Эти фильтры достаточно точно реализуются в компьютерных ИЭС. Их применение позволит повысить эффективность экспертизы с помощью ИЭС.

### Литература

1. Альт В.В. Информационное обеспечение экспертизы состояния двигателей / Альт В.В., Добролюбов И.П., Савченко О.Ф. ; РАСХН, Сиб. отд-ние, СибФТИ. – Новосибирск, 2001. – 220 с.
2. Добролюбов И.П. Идентификация состояния сельскохозяйственных объектов измерительными экспертными системами / Добролюбов И.П., Савченко О.Ф., Альт В.В. ; РАСХН, Сиб. отд-ние, СибФТИ. – Новосибирск, 2003. – 209 с.
3. Савченко О.Ф. Автоматизированные технологические комплексы экспертизы двигателей / Савченко О.Ф., Добролюбов И.П., Альт В.В., Ольшевский С.Н. ; РАСХН, Сиб. отд-ние, СибФТИ. – Новосибирск, 2006. – 272 с.

4. Добролюбов И.П. Выбор информативных признаков для измерительной экспертной системы дизель-генератора / Добролюбов И.П., Савченко О.Ф. // Аграрная энергетика в XXI веке : мат. междунар. науч.-техн. конф. / Институт энергетики АПК НАН Беларуси.– Минск, 2005. – С. 202-206.

5. Тихонов В.И. Оптимальный прием сигналов / Тихонов В.И. – М.: Радио и связь, 1983. – 320 с.

## **О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОПЫТА СТРАН СЕВЕРОВОСТОЧНОЙ АЗИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В АПК БЕЛАРУСИ**

В.Ф. Дудик

Академия управления при Президенте Республики Беларусь, г. Минск

К числу стран СВА относятся такие страны как Китайская Народная Республика (КНР) и территория Тайвань, как одна из провинций материкового Китая, Япония, Республика Корея, Корейская Народно-Демократическая Республика (КНДР), Монголия. Для всех этих стран характерна зависимость от нефтяного импорта, а для большинства из них от импорта и других энергетических ресурсов. В нефтяном отношении «Япония, Южная Корея и Тайвань, а сейчас и Китай, в наибольшей степени зависят от импорта из стран Ближнего Востока». При этом важное значение имеет «азиатская премия» ... Это понятие оформилось, когда подтвердились многолетние «полевые» наблюдения – азиатские страны в среднем платят за энергоносители больше, чем их американские и европейские «коллеги» [1].

Китай производит широкий спектр современного оборудования для производства, передачи, распределения энергии, а также измерительную и диагностическую аппаратуру. Значительное внимание уделяется альтернативным источникам энергии. Несмотря на существующие огромные запасы угля «Китай поста-

вил перед собой цель отказаться от использования угля для выработки электроэнергии и заменить его газом и возобновляемыми источниками энергии. Более того, в 2004 г. китайские власти объявили о новой энергетической стратегии под названием «большой скачок», предусматривающей повышение энергетической эффективности вновь возводимых зданий, предприятий и товаров» [3].

Китай также крайне зависит от экспорта нефти (став импортером нефти с 1993 года в связи с бурным развитием промышленного сектора). Для преодоления этой зависимости руководство Китая решило максимально использовать те большие возможности в использовании ветровой, солнечной и геотермальной энергетики, которые есть у страны. Китай становится одним из лидеров в области использования возобновляемых источников энергии, планируя к 2020-году увеличить их долю до 10%. По соглашению с канадской фирмой, к 2008 году на территории Китая (в автономном районе Внутренняя Монголия) будет сооружена крупнейшая в Азии ветровая электростанция мощностью 1 млн. киловатт. Принята стратегия строительства ветровых электростанций для снабжения близлежащих поселков и городов, чтобы избежать потерь энергии при транспортировке. Мощности ветряных станций в стране к 2020 году должны достигнуть 30 млн. киловатт. Потенциально Китай может при помощи энергии ветра вырабатывать до 1 млрд. киловатт энергии. Китай обладает также самым большим в мире гидропотенциалом. К 2020 году планируется довести суммарную мощность гидроэлектростанций до 75 млн. киловатт. Китай ищет и нетрадиционные пути преодоления зависимости от экспорта нефти. В частности, заявлено о намерении инвестировать 100 миллионов долларов на изучение возможности использования гидратов природного газа (огромные залежи которого расположены на океанском шельфе у его берегов) в качестве возможного источника топлива.

Япония, испытывающая еще большие сырьевые трудности, чем Китай, является одним из лидеров в области использования возобновляемых источников энергии. В 2004 году в научном центре Цукуба была создана крупнейшая сол-

нечная электростанция, способная обеспечить электричеством 300 семей в год. Правительство Японии планирует за счет использования энергии солнца вырабатывать к 2010 году 4 миллиона 820 тысяч киловатт. Ведется также работа над добычей водорода из морской воды посредством электролиза, при котором используется энергия ветра.

Южная Корея пытается преодолеть свою чрезмерную зависимость от импорта нефти и газа посредством массового строительства атомных станций на легкой воде (разработка корейских ученых), предусматривая ввод к 2010 году 8 новых атомных станций (2). При этом огромное значение уделяется и другим альтернативным источникам энергии – солнцу и ветру. Строятся мощные станции по использованию энергии солнца (в том числе мощностью более двух мегаватт).

Беларусь может наиболее эффективно использовать опыт стран Северо-восточной Азии для внедрения в АПК посредством создания совместных предприятий с Китаем и Южной Кореей по производству оборудования для станций, использующих энергию ветра, и оснащения этими станциями белорусских предприятий АПК. Особенно востребованной такая политика окажется в подверженных радиационному загрязнению районах, позволяя снизить экологическую нагрузку на среду.

### Литература

1. Белокурова Галина. Общность подходов к энергетической политике в Японии и Корее. – [Электронный ресурс]. – [http://www.opec.ru/library/article.asp?d\\_no=4558&c\\_no=19&c1\\_no](http://www.opec.ru/library/article.asp?d_no=4558&c_no=19&c1_no) – Дата доступа: 31.08.2007
2. Белокурова Галина. Основные направления энергетической политики Республики Корея. – [Электронный ресурс]. – <http://vestnik.tripod.com/library/ref019.doc> – Дата доступа: 31.08.2007

3. Ловинс Эймери. Меньше углерода, больше прибыли / Э. Ловинс // В мире науки. – 2005. – № 12 [Электронный ресурс]. – <http://www.sciam.ru/2005/12/energy.shtml> – Дата доступа: 30.08.2007

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЭТАНОЛА И ВЫТЕКАЮЩИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА В США**

Клочков А.В., Шпаар Д., Клочков М.А.

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия», г. Горки,  
Германия, США

В настоящее время около 17 % потребления первичной энергии в мире реализуется из возобновляемых источников. Одним из таких источников является этанол. Он представляет собой спирт из сахаро- и крахмалосодержащей массы после разложения энзимами. В мире производится около 300 млн. гектолитров этанола, из которого около 70% получают в странах Северной и Южной Америки. В США реализуется программа замены к 2030 году до 30% горючего биотопливом.

Потребность в возобновляемых источниках энергии стала национальным приоритетом в США. Это обусловлено высокими ценами на топливо, экологическими проблемами, и целями сокращения зависимости экономики от экспорта нефти. Производство биотоплива осуществляется в отрасли сельского хозяйства. Большинство этанола, произведенного в этой стране, сделано из зерна. При урожайности зерновых 6 т/га выход этанола составляет 2500 л/га. Текущее расширение в использовании зерна для этанола беспрецедентно в его скорости и величине, также как и воздействие на американский рынок зерна.

Производство этанола в Соединенных Штатах Америки в 2006 году составило почти 5 миллиардов галлонов (1 галлон = 3,787 л), что приблизительно на 1 миллиард галлонов больше, чем в 2005 году. Ожидаемое производство к 2009 году превысит 10 миллиардов галлонов. Производство этанола, как ожидают, более чем удвоится через несколько лет и достигнет 12 миллиардов галлонов к

середине следующего десятилетия. Дальнейшее расширение выпуска этанола, как ожидают, будет более умеренным. Однако производство этанола возрастет больше, чем до 12 миллиардов галлонов к 2015 году. К 2017 году объемы производства этанола составят около 8 процентов ежегодного использования бензина в Соединенных Штатах.

Внес свой вклад в использование этанола закон о политике в области энергии 2005 года, в соответствии с которым применение возобновляемого топлива (с кредитами на биодизельное топливо «biodiesel») достигнет 7.5 миллиарда галлонов к 2012 году, с ростом в последующие годы. Федеральные налоговые законы также обеспечивают стимулы для биологического топлива. Согласно текущему закону, налоговые скидки равны 51 центу для каждого галлона смешанного этанола с бензином. Дополнительно, тариф 54 цента за галлон оценен на импортированном этаноле, с беспошлинным статусом на 7% американского этанола на рынок для импорта. В комбинации, эти факторы сделали этанол более экономичным в производстве. Высокие цены на нефть повысили цены на бензин и подняли ценность этанола. Устранение использования канцерогенного МТВЕ (метил-трет-бутиловый эфир) в качестве окислителя также увеличило спрос на этанол как добавку для бензина.

Производство этанола является все еще относительно малым, но для сектора зерна является весьма существенным. В пределах ближайших лет более чем 30 процентов урожая зерна предполагается использовать для производства этанола. В большинстве случаев для производства этанола в качестве сырья в Соединенных Штатах использует зерно кукурузы. Это большое и быстрое расширение американского производства этанола затрагивает фактически каждый аспект производства сельскохозяйственных культур, в пределах от внутреннего спроса и экспорта, до цен и распределения площади под посевы зерновых культур. Много аспектов сектора животноводства также затронуты. Как следствие этих воздействий товарного рынка, доходы ферм, правительственные платежи, и цены на продовольствие также изменяются.

Рынок зерна существенно затронут увеличением производства этанола. Объемы производства зерна кукурузы достигнут 4 миллиардов бушелей (1 бушель=35,24 л) ежегодно в 2010/11 годы. Поскольку промышленность этанола поглотит большую долю урожая зерна, более высокие цены на зерно усилят конкуренцию среди производителей и иностранных покупателей зерна кукурузы. Долгосрочные прогнозы Министерства сельского хозяйства США (USDA) показывают, что средние цены на зерно кукурузы могут достичь 3.75 \$ за бушель в 2009/10 годы, а в последующем ожидается их снижение до 3.30 \$ за бушель в 2016/17 годах, поскольку замедлится расширение производства этанола. Цены на зерно кукурузы на этих уровнях являются рекордно высокими, превышая предыдущее высокое среднее число за любой 5-летний период больше чем на 50 центов за бушель.

Высокие цены на зерно кукурузы затрагивают его роль как корма, использование которого в животноводстве США типично и составляет 50-60 % от общего количества. С более высокими ценами зерно, используемое для животноводства, за следующее десятилетие снизится его применение на корм до 40-50 %.

Увеличенное использование зерна кукурузы для производства этанола и более высокие цены имеют важное значение для глобальных торговых и международных рынков. Более высокие цены на зерно также поощряют фермеров увеличивать посевные площади. Большая часть этого увеличения происходит за счет изменения пропорции в севообороте между кукурузой и соей. Предполагается в 2007 году увеличение площади под кукурузу сопровождается сокращением посевов сои, которые снижаются на больше чем 8 миллионов акров в сравнении с 2006 годом. Еще большее снижение предполагается в долгосрочных прогнозах Министерства сельского хозяйства США (USDA). С сокращением производства ожидается повышение цен на сою. Как с зерном кукурузы, это уменьшает экспорт и запасы сои. Сокращенное производство и более высокие цены на сою также сопровождаются более высокими ценами для продуктов из сои и для масла сои.

Другие источники земли для увеличенных объемов производства кукурузы включают превращение в пахотные угодья пастбищ, сокращение паров. Предполагаемое сообщение о прогнозах USDA, выпущенное 30 марта 2007 года, показало намерение фермеров о выделении для кукурузы повышенных площадей, превышающих 90 миллионов акров (1 акр=0,405 га), что выше на более чем 12 миллионов акров в сравнении с 2006 годом.

В итоге, увеличенное использование зерна кукурузы для производства этанола приводит к более высоким ценам, которые вызывают сокращение других требований и увеличений поставок, чтобы привести рынок зерна в равновесие. В этих новых условиях запасы зерна уменьшены, поскольку сектор пытается балансировать через ценовые сигналы, совмещая текущее использование с будущими потребностями рынка. Более низкие запасы делают сектор потенциально более изменчивым и восприимчивым к воздействиям, типа сокращения производства из-за засухи или поражения вредителями и болезнями.

Более высокие цены на зерно кукурузы затрагивают сектор животноводства из-за важности зерна как корма. В ответ на более высокие цены на зерно кукурузы, производство говядины и домашней птицы может снижаться, особенно в течение следующих нескольких лет, поскольку производство этанола возрастает.

В США по различным оценкам производится 1,4 млрд. т клетчатки (целлюлозы), которая также может быть переработана в этанол. Выход этанола из 1 т целлюлозы составляет 70 галлонов, что незначительно ниже выхода из зерна кукурузы (100 галлонов). В ближайшие 20 лет планируется приложить большие усилия для развития данной технологии с получением энергии из целлюлозы. Производство биодизельного топлива из семян рапса сопровождается его выходом в количестве приблизительно 1520 л/га при урожайности семян 3,5 т/га. Также имеет перспективы производство биодизельного топлива на основе импорта из Азии и Бразилии и переработки более дешевого пальмового масла, сои или сахарного тростника со всеми экологическими преимуществами.

## Заключение

Новые технологии производства энергоресурсов могут сделать различное растительное сырье экономически целесообразным, и использование биоэнергии расширяется. Зерно кукурузы будет широко использоваться в качестве первичного сырья для производства этанола в Соединенных Штатах, что окажет воздействие на сельскохозяйственное производство и рынок продовольствия.

## НЕОБХОДИМОСТЬ СНИЖЕНИЯ РАСХОДА ЭНЕРГОРЕСУРСОВ В СИСТЕМЕ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ТЭЦ

В.Б. Козловская, И.А. Орлов

УО «Белорусский национальный технический университет», г.Минск

Производство электрической и тепловой энергии на электростанциях всегда сопровождается расходом некоторой части электроэнергии для нужд самой электростанции (может составлять до 15-18%). На современных тепловых электростанциях производственный процесс полностью механизирован с помощью многочисленных устройств, как правило, снабженных электроприводом. Совокупность всех этих устройств, обеспечивающих нормальную эксплуатацию станции, называют собственными нуждами. К собственным нуждам станции относят также освещение, отопление и бытовые нужды.

В целях обеспечения энергетической безопасности и энергетической независимости страны президентом Республики Беларусь была издана Директива №3 от 14 июня 2007 г. “Экономия и бережливость – главные факторы экономической безопасности государства”. Основными направлениями экономии энергоресурсов на электрических станциях являются:

1. Снижение потребления электроэнергии: замена ламп на энергосберегающие, внедрение регулируемых электроприводов и гидромурфт, внедрение элегазовых выключателей, ликвидация электрообогрева помещений и т.д.

2. Снижение потребления тепла: тепловая реабилитация зданий и сооружений, оптимизация схем теплоснабжения, установка регуляторов тепловой энергии, внедрение ПИ-труб, замена тепловой изоляции на более эффективную и т.д.

3. Увеличение использования местных видов топлива, возобновляемых видов энергии вторичных энергетических ресурсов.

4. Организация экономии топливно-энергетических и материальных ресурсов за счет оптимизации их расходования, замены устаревшего энергетического и технологического оборудования на более современное.

5. Снижение затрат на ремонт оборудования: увеличение межремонтного периода, консервация оборудования и т.д.

6. Внедрение систем автоматического управления процессами.

7. Создание эффективного механизма морального и материального стимулирования экономии и рационального использования топливно-энергетических ресурсов, системы поощрения за экономию и бережливость.

8. Организационно-технические мероприятия по совершенствованию нормирования труда и структуры управления рабочих мест.

9. Проведение разъяснительной работы среди работников по вопросам совместной экономии топливно-энергетических и материальных ресурсов, установки для этого в административно-бытовых помещениях индивидуальных приборов учета расхода воды и природного газа.

10. Проведение регулярных проверок состояния работы по организации экономии топливно-энергетических и материальных ресурсов.

Рассмотрим эффективность вышеперечисленных мероприятий по экономии топливно-энергетических и материальных ресурсов на примере Северной мини-ТЭЦ Гродненских тепловых сетей.

Таблица 1 – Эффективность энергосберегающих мероприятий

№ п/п	Наименование мероприятий	Экономия топлива		Объем финанси-	Срок окупае-
		т.у.т.	тыс. руб.	рования, тыс. руб.	
1	2	3	4	5	6
1	Установка парового эжектора на подогревателе сетевой воды	168,0	50,7	65,0	1,3
2	Реконструкция деаэрационной колонки подпиточного деаэратора	438,0	132,3	28,2	0,6
3	Установка газоаналитических систем КГС-8С для контроля процесса горения в топке котла ГМ-50 ст. № 8	38,0	11,5	20,0	2,1
4	Установка турбопривода на сетевом насосе СЭ-1250-110	650	196,3	375,0	2,6
5	Установка преобразователя частоты на электроприводе сетевого насоса мощностью 320 кВт	223,3	67,4	94,2	1,8
6	Установка преобразователя частоты на электроприводе дутьевого вентилятора котлоагрегата мощностью 132 кВт	80	24,3	56,3	1,6
7	Замена тепловой изоляции паро и мазутопроводов	143,2	43,3	160	5,7
8	Оборудование блочными тепловыми пунктами для собственных нужд, оснащение средствами автоматического регулирования	17	5,2	20	3,5

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕСТНЫХ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ В АПК БЕЛАРУСИ

Кузьмич В.В.

«Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства» г. Минск

Наиболее значительным возобновляемым энергетическим ресурсом биомассы в РБ является древесина. Экологически целесообразный потенциал ис-

пользования древесины существующих лесов, включая отходы деревообработки, в качестве топлива равен 2,5-2,7 млн.т у.т./год.

В настоящее время в республике действует 461 котельная установка, работающая на совместном сжигании древесного и других видов топлива и 1022 котельных на угле с общим топливопотреблением 563 тыс.т у.т.

Увеличение использования древесной массы в качестве топлива может быть осуществлено за счет модернизации угольных котельных, строительства новых котельных и ТЭЦ на древесине. Кроме того древесную биомассу можно использовать для получения из древесины экспортной топливной продукции.

Следует обратить внимание на такой ценный вид топлива, который может быть произведен из древесины, как древесный уголь. Теплотворная способность его выше теплотворной способности каменного угля и составляет 32,4 МДж/кг. Древесный уголь получают из березы и твердолиственной древесины путем термического разложения без доступа воздуха в интервале температур 300-1000 °С. При этом образуются жидкие и газообразные продукты. Выход угля при температуре 450 °С составляет 33 % от сухой древесины. Из 7 тонн дров за 2,5 дня получают 1 тонну ценного продукта с большими экспортными возможностями. При себестоимости древесного угля около 100 долл. за тонну цена продажи его составляет 170-200 долл.

Другой вид топлива, произведенный из отходов древесины, который имеет большие экспортные возможности это древесные гранулы. В РУП «Научно-практическом центре Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства» разработана и внедрена на ряде предприятий технология изготовления древесного гранулированного топлива. Важным преимуществом получаемого по этой технологии топлива, является малое содержание в нем соединений серы, азота и низкая зольность, что делает его экологически чистым. Основой разработанной технологии является паротермическая обработка исходного сырья перегретым паром с последующим прессованием в матричном грануляторе. Роль паротермической обработки и заключается в доведении древесной

массы до её деструкции. При этом из опилок выделяются смолы, которые при последующем прессовании обеспечивают повышенную прочность, малую гигроскопичность, в результате изменения химического состава древесины увеличивается ее теплотворная способность. Одновременно увеличивается производительность гранулирования как за счет снижения сопротивления в матрице гранулятора, так и за счет снижения потерь при гранулировании. Пар действует на обрабатываемый продукт как смазка. Благодаря этому увеличивается производительность, срок службы гранулятора. При себестоимости древесных гранул 70 долл. за тонну цена продажи на экспорт составляет 130-160 долл.

В «Научно-практическом центре Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства» разработана технология и оборудование для получения стабильных топливных коллоидных смесей.

Коллоидные водно-углеводородные горючие смеси, как показывают испытания, за счет полноты сгорания исключают закоксование форсунок, регистров котлоагрегатов, снижают валовый выброс загрязняющих веществ; взвешенных веществ – на 87 %; снижается совместный эффект коррозионного воздействия пятиоксида ванадия, оксида натрия, оксидов азота и серы примерно в 3-4 раза на элементы проточной части горелочно-поточных агрегатов. Коэффициент полноты сгорания, по экспериментальным данным, достигает 0,98-0,99.

В настоящее время изготовлен опытный образец установки по получению эмульсии гидростабилизированного мазута. Производительность установки 5 тонн в час; потребляемая мощность 10 кВт/ч; датирование водой до 20 %.

Разрабатываются технологии получения:

- гидростабилизированного горючего на основе масла сивушного. В Республике ежегодно производится до 40 тыс. т масла сивушного, которое может использоваться в составе горючего;

- горючего на основе смесей – дизельное топливо – рапсовое масло;
- переработки тяжелых остатков глубокой переработки нефти (с участием водных добавок).

В Республике Беларусь имеются нефтеперерабатывающие и производящие спирт заводы, совместная продукция, которых служит основой получения нового топлива – стабильных коллоидных водно-углеводородных топливных смесей. Разработка промышленной технологии получения таких топлив является одним из условий сохранения энергетического потенциала Беларуси и последующего его увеличения. Она же способствует минимизации экологических последствий от использования применяемых ныне технологий топливной и нефтехимической промышленности.

## **ПЕРСПЕКТИВЫ УВЕЛИЧЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ**

А.В. Ледницкий

УО «Белорусский государственный технологический университет», г. Минск

Вопрос обеспечения энергоносителями народного хозяйства республики из-за отсутствия в требуемых объемах собственных ископаемых источников энергии и значительной экономической зависимости от внешних поставщиков имеет стратегическое значение. Затраты в денежном выражении на приобретение газа и нефтепродуктов ежегодно составляют около 30% от валового внутреннего продукта и могут возрасти в перспективе в связи с их удорожанием и истощением. В этой связи особенно важным представляется решение вопросов, связанных с увеличением использования в энергетических целях местных возобновляемых ресурсов древесного сырья в виде низкокачественной древесины, отходов лесозаготовок и деревообработки.

### **1. Ресурсы древесно-топливного сырья**

В настоящее время в республике *ежегодно потребляется* в энергетических целях около 6 млн. м<sup>3</sup> низкокачественной дровяной древесины и древесных отходов, в том числе отходов деревообработки 1,2 млн. м<sup>3</sup>, дров от рубок главного и промежуточного пользования, уборки буреломов и ветровалов 4,4

млн. м<sup>3</sup>, отходов лесозаготовок 0,4 млн. м<sup>3</sup>. В перспективе к 2010 году объем потребления древесно-топливного сырья должен возрасти примерно на 40% и составить около 8,4 млн. м<sup>3</sup>.

В соответствии с «Целевой программой обеспечения в республике не менее 25 процентов объема производства электрической и тепловой энергии за счет использования местных видов топлива до 2012 года», «Государственной комплексной программой модернизации основных производственных фондов белорусской энергетической системы в 2006–2010 годах» в Беларуси должны быть построены 16 энергоисточников (мини-ТЭЦ), работающих на древесном топливе: в концерне «Беллесбумпром» – 3, Минжилкомхозе – 3 и Минэнерго – 10, с годовой потребностью 1,2 млн. м<sup>3</sup> древесного топлива.

Один из данных объектов – мини-ТЭЦ г. Вилейка и предприятие по поставке топливной щепы ГЛХУ «Вилейский лесхоз» – создан в рамках проекта Правительства Республики Беларусь и Программы развития ООН «Применение биомассы для отопления и горячего водоснабжения в Республике Беларусь». Проектные работы по системе топливоснабжения выполняли сотрудники БГТУ [1].

В 2007 году необходимо организовать обеспечение древесным топливным сырьем четырех энергообъектов «Белэнерго» и одного объекта Минжилкомхоза с общим объемом потребления 56,1 тыс. т у.т. или 211,7 тыс. м<sup>3</sup>: Белорусская ГРЭС (6,0 тыс. т у.т. или 22,2 тыс. м<sup>3</sup>); Осиповичская мини-ТЭЦ (9,0 тыс. т у.т. или 34 тыс. м<sup>3</sup>); Вилейская мини-ТЭЦ (16,0 тыс. т у.т. или 60 тыс. м<sup>3</sup>); Пинская мини-ТЭЦ (23,1 тыс. т у.т. или 88 тыс. м<sup>3</sup>); Верхнедвинская мини-ТЭЦ (первая пусковая очередь 2,0 тыс. т у.т. или 7,5 тыс. м<sup>3</sup>).

## 2. Организация структур по производству древесного топлива

Наиболее быстро производство топливной щепы может быть организовано путем создания *дополнительных структурных подразделений* по заготовке сырья, его переработке и доставке потребителю в рамках действующих предприятий в основном на базе имеющихся технических средств и применяемых технологических процессов по выпуску лесопродукции [2].

Такие структуры могут быть созданы в рамках предприятий системы Минлесхоза, Минжилкомхоза, концерна «Беллесбумпром», концерна «Белэнерго», концерна «Белтопгаз» или как независимые самостоятельные предприятия различных форм собственности, специализирующиеся на сборе, подготовке сырья к измельчению, хранению и доставке топливной щепы потребителю.

*Созданию предприятия* либо структурного подразделения в рамках действующего, занимающегося производством древесного топлива, должны предшествовать этапы, включающие проработку вопросов, способствующих повышению эффективности его работы:

оптимизация транспортной и технологической схем освоения сырьевых ресурсов регионов, прилегающих к предприятию, включающая выбор технологий, систем машин, мест создания и размеров основных (промежуточных) складов сырья и топливной щепы;

разработка обоснований инвестиций с учетом условий и особенностей функционирования конкретного объекта капитальных вложений, что позволит определить объем реальных инвестиций, необходимых для эффективного функционирования производств, связанных с заготовкой, переработкой и доставкой потребителю древесного топлива в конкретном регионе;

оценка соответствия технических параметров применяемой техники и оборудования природно-производственным условиям их эксплуатации, что создаст предпосылки для повышения эффективности применения нового оборудования и снижения его цены на машиностроительных предприятиях республики, и в конечном итоге обеспечит экономию вкладываемых в отрасль инвестиций.

### **3. Технологические процессы производства топливной щепы**

Технологические процессы производства топливной щепы могут быть представлены следующими основными вариантами.

*Производство топливной щепы из отходов лесозаготовок на рубках главного пользования.* Сучья, ветви, вершины, неделовые вырезки, фаутные деревья

и др. предварительно окучиваются на лесосеке, после чего доставляются на верхний или промежуточный склад, где происходит их измельчение в передвижной рубильной машине с погрузкой щепы в контейнер автощеповоза.

*Производство топливной щепы из дровяной древесины на рубках промежуточного пользования.* Тонкомерные деревья и кустарник, вырубается с технологических коридоров (шириной 4 м) и складываются на их обочине в небольшие штабеля. Сформированная таким образом пачка доставляется на специально подготовленную площадку около лесовозной дороги и укладывается в кучи, обеспечивая запас сырья для последующего измельчения в щепу передвижной рубильной машиной.

*Производство топливной щепы из дровяной древесины на рубках главного пользования.* Заготавливаемая на лесосеке стволовая дровяная древесина вывозится на нижний лесной склад, расположенный недалеко от котельной (мини-ТЭЦ), и измельчается там рубильной машиной.

*Производство топливной щепы из отходов лесопиления и деревообработки.* При накоплении на территории отдельного цеха достаточного объема кусковых отходов туда направляются передвижная рубильная машина и транспорт для перевозки щепы. Рубильная машина измельчает отходы непосредственно в контейнер щеповоза, который доставляет щепу прямо на склад топлива потребителя.

Схема организации производства топливной щепы в условиях промежуточных складов и склада межсезонного хранения древесного топлива может быть представлена на рис. 1.



Рис. 1. Схема организации технологических процессов производства топливной щепы

#### 4. Системы машин и оборудования

Для реализации рассмотренных выше технологических процессов необходимы следующие виды *машин и механизмов*: погрузочно-транспортные машины для сбора и подвозки сырья на промежуточные склады (форвардеры, тракторные тележки с гидроманипуляторами); рубильные машины для производства топливной щепы с производительностью 40–100 нас. м<sup>3</sup>/ч; автощеповозы со съёмными и несъёмными кузовами с нагрузкой на рейс 40–90 нас. м<sup>3</sup>.

Сегодня в республике налажено серийное производство погрузочно-транспортных машин и автощеповозов. Однако выпускаемые автощеповозы позволяют перевозить небольшой объем щепы, до 40 нас. м<sup>3</sup>.

Проведены первые промышленные испытания многоножевых барабанных рубильных машин с приводом от автономного двигателя производительностью 40 нас. м<sup>3</sup>/ч (РУП «МТЗ» и ОАО «Амкодор») и с приводом от вала отбора мощности трактора производительностью 25 нас. м<sup>3</sup>/ч (РУП «МТЗ»), а также щеповозного автопоезда, позволяющего перевозить 80 нас. м<sup>3</sup> щепы (РУП «МАЗ»).

Вместе с тем срочно нужны и 2–3 типа автощеповозов, имеющих достаточную проходимость по лесным дорогам, способных самостоятельно выгружать щепу без опрокидывания кузова (напольный выгрузочный транспортер) и снабженных устройством, предохраняющим от смерзания щепы в зимнее время, а также прицепов-щеповозов, в том числе к тракторам МТЗ.

## Заключение

1. Потребление древесного топлива в Республике Беларусь составляет в настоящее время около 1,6 млн. т у.т. и увеличится к 2010 году примерно на 40%. Вовлечение в ТЭБ дополнительных ресурсов древесного топлива, позволит в перспективе покрыть до 10% потребностей республики в энергоносителях против сегодняшних 4%. В первую очередь необходимо использовать для производства древесного топлива отходы лесопиления и деревообработки. При этом для сбора и переработки древесных отходов и дровяной древесины требуется использование новых технологий и систем машин.

2. Для повышения эффективности использования в Республике Беларусь низкокачественной древесины и древесных отходов в энергетических целях необходимо совершенствование планирования производства и потребления древесного топлива. В этой связи требуется создание межведомственного учета – баланса древесного топливного сырья (наличия производителей и потребителей). Составление балансов производства и потребления древесного топлива можно производить с помощью районных территориальных органов управления (Районных исполнительных комитетов).

3. Самой перспективной системой машин для производства топливной щепы представляется система, сформированная на базе передвижных рубильных машин. Это обусловлено ее гибкостью, высокой мобильностью и производительностью, низкой металло- и трудоемкостью. В республике возможна реализация ряда рассмотренных технологий, как на базе применяемой техники, так и путем ее модернизации и создания новой.

4. Наиболее быстро в Республике Беларусь производство топливной щепы может быть организовано за счет создания дополнительных структурных подразделений по заготовке сырья, его переработке и доставке потребителю в рамках действующих предприятий. Для решения данной задачи необходимо на государственном уровне дальнейшее совершенствование организационно-экономического механизма и нормативно-правовой базы.

## Литература

1. Федосеев В.Ф., Ледницкий А.В., Корзун И.И. Организация производства и снабжения топливной щепой мини-ТЭЦ г. Вилейка Минской области // Энергоэффективность. – № 10. – 2004. – С. 20–21.
2. Федоренчик А.С., Ледницкий А.В., Корзун И.И. Организация производства топливной щепы на предприятиях лесного комплекса // Лесное и охотничье хозяйство. – 2006. – № 1. – С. 28–31.

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ КОТЕЛЬНЫХ АПК ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ КОГЕНЕРАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Малайчук Л.М.

Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, г. С.-Петербург,  
Пушкин

Энергетическая безопасность сельских территорий оказывает прямое влияние на экономику агропромышленного сектора и условия жизни сельского населения. При этом все более актуальными становятся вопросы о доступности энергоресурсов по ценовым параметрам. Парадоксальная ситуация: рост цен на энергоресурсы не способствует качеству энергообеспечения от централизованных источников.

Теплоснабжение предприятий АПК, как правило, осуществляется от котельных, исключения составляют объекты, расположенные возле мощных ТЭЦ близ крупных городов. Потребление тепловой энергии в АПК постоянно растет. Это связано с развитием предприятий, выпускающих с.х. продукции. Несомненно, также, что тепловая энергия необходима для коммунально-бытовых нужд населения с.х. территорий. Ожидаемая динамика теплопотребления в агропромышленном комплексе составляет от 0,51 млрд. Гкал/год в 1990г. до 0,7 млрд. Гкал/год в 2010г [1].

Технологический процесс котельной установки невозможен без потребления электрической энергии. При этом электрическая мощность, потребляемая котельной, в 100 и более раз меньше тепловой мощности, которую она вырабатывает [2].

Комбинированное производство электрической и тепловой энергии эффективнее перед их отдельным производством. Эффективность работы современной ТЭЦ может достигать 90% при условии согласования режимов производства электрической и тепловой энергии с режимами их потребления [3]. Известно, что КПД мощных ТЭЦ определяется степенью востребования тепловой энергии, поэтому они располагаются возле крупных потребителей тепловой и электрической энергии. Тогда как котельные располагают вблизи рассредоточенных по некоторой территории потребителей.

В связи с этим одним из направлений развития энергетики АПК может стать освоение и внедрение когенерационных установок, ориентированных на обслуживание потребителей с тепловыми нагрузками малой и средней концентрации (до 10 - 50 Гкал/ч). Например, при достаточной мощности паровых котлов возможна реконструкция котельных (мощностью свыше 20 Гкал/ч) путем установки турбины малой мощности с противодавлением. Что касается котельных с морально и физически устаревшим оборудованием, то для них предпочтительнее второе направление, а именно внедрения новых полностью автоматизированных паросиловых, газотурбинных и парогазовых ТЭЦ.

В любом случае внедрение когенерационных установок не изменяет основную задачу котельной (производство тепловой энергии), но повышают эффективность ее работы за счет увеличения КПД, следовательно, экономятся первичные энергоресурсы.

Эффективность преобразования энергии зависит не только от оснащенности объекта современным оборудованием и технологиями, но и от режимов работы энергооборудования, а именно от согласования выработки и потребления электрической и тепловой энергии. Рациональные режимы энергооборудования

позволяют сэкономить не только электрическую энергию, но и первичные энергоресурсы – топливо [4]. Как известно, топливо является основной статьёй затрат в себестоимости производимой энергии, поэтому экономия энергоресурсов – это и экономическая задача.

Решение технико-экономических задач начинается с выбора оборудования для конкретного технологического процесса, обоснования мощности и др. Методика обоснования электрической мощности генератора, основанная на выборе по максимально возможной выработке тепловой мощности, имеет свои недостатки, здесь не учитывается загрузка электрогенератора в разные периоды, от которой в свою очередь зависит КПД установки в целом. Этот вопрос до конца не решен.

Котельные с когенерационными установками представляют собой сложные технологические системы, для эффективного управления которых необходимо руководствоваться набором показателей, объективно и всесторонне характеризующих процесс производства энергии. Существующие энергетические установки (мощные ТЭЦ и котельные) в значительной степени отличаются по технологическому процессу, по объемам производства энергии и их количественным отношениям от типовых котельных. Поэтому необходимо разработать методики оценки эффективности работы именно котельных с когенерационными установками. Данные работы ведутся на энергетическом факультете СПбГАУ.

Для будущего разумного развития энергетики АПК важно также создать благоприятные экономические условия, которые должны быть основаны не на сегодняшнем произвольном ценообразовании и постоянном повышении тарифов в условиях несовершенства законодательства, а на рациональном использовании энергоресурсов и защите окружающей среде.

Литература.

1. Гутуров В.Ф., Байбаков С.А. 100 лет развития теплофикации в России. – Энергосбережение, 2003, №5, с.32-34.

2. Дубинин В.С., Лаврухин К.М. и др. О целесообразности автономной работы котельных от электросетей. – Энергонадзор-информ, 2006, №4, с.30-34

3. Епифанов А.П., Малайчук Л.М. Повышение эффективности работы теплогенерирующих предприятий установкой паротурбогенератора собственных нужд - Прогрессивные технологии в аграрной науке: Сборник научных трудов СПбГАУ. СПб: Изд-во СПбГАУ, 2005. с. 84–91.

4. Гущинский А.Г., Малайчук Л.М. Рациональные режимы основного электрооборудования на теплогенерирующих предприятиях - Материалы Международной научно-практической конференции «Ресурсосберегающие технологии технического сервиса» 26-27 апреля 2007г. Уфа: Башкирский ГАУ, 2007.- с.136-141

## **ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ГОСУДАРСТВА**

Прищепов М.А., Гаркуша К.Э.

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск

В настоящее время энергетика играет определяющую роль не только в экономике страны, но и в политике государства. Мировое сообщество вступает в полосу дефицита топливно-энергетических ресурсов. В этих условиях на первый план выходит проблема энергосбережения. Причем она становится глобальной проблемой всего человечества, а не только отдельных стран и регионов.

Экономика нашей страны зависима от внешних поставщиков энергоресурсов и уязвима к росту цен на энергоносители. В сложившихся условиях остро встает вопрос энергетической безопасности, а, следовательно, экономической и политической независимости республики.

Схожие проблемы преодолевают и высокоразвитые страны Европы, где помимо нерешенных вопросов энергобезопасности имеет место высокая плотность

населения. неблагоприятная экологическая обстановка, высокий уровень безработицы. В этих странах в последние годы делается серьезная ставка на использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ).

К одной из таких стран относится Германия. Доля ВИЭ в энергобалансе Германии составляет 7%, а потенциал, по расчетам экономистов, – 20-30%. В структуре ВИЭ преобладают биогенная тепловая энергия, ветровая энергия, гидроэнергия, биогаз. Рост числа установок ВИЭ в год согласно принятым директивным документам должен составлять 30%, в том числе по фотоэлементам – 66%: 2006 г. – 11,7%; 2010 г. – 12,5%; 2020 г. – 20,0%. Благодаря такому росту прогнозируется увеличение числа рабочих мест до 160 тысяч человек, в том числе в области использования солнечной энергии до 25 тысяч человек.

В 2004 году в Германии принят Закон об энергосбережении, где предусмотрена широкомасштабная поддержка со стороны государства предприятиям, организациям, юридическим и физическим лицам, использующим нетрадиционные энергоресурсы.

Так на приобретение соответствующего энергетического оборудования предусмотрены единовременные субсидии, выплачиваемые потребителям. Например, 250 EUR за кВт·ч установленной мощности компенсируется при установке теплового насоса; 70 EUR компенсируется за каждый м<sup>2</sup> солнечных водонагревателей, установленных для нужд отопления и горячего водоснабжения и т.д.

Предусмотрено также снижение тарифа на электроэнергию для потребителей, использующих установки ВИЭ. Например, при применении тепловых насосов тариф на электроэнергию сокращается с 19 до 12 EUR центов/кВт·ч. Тариф дифференцируется в зависимости от установленной мощности оборудования ВИЭ и от года ввода оборудования в действие.

Для производителей энергии на установках ВИЭ Законодательством предусмотрены значительные преференции: повышенный (до 4-х крат по отношению к традиционной выработке) фиксированный на 20 лет тариф на электроэнергию. Применяется также гибкая система надбавок к тарифу для стимулирования разви-

тия энергоэффективных технологий, надбавка при совместной выработке теплоты и электрической энергии и т.п.

Особый интерес представляет концепция развития возобновляемой энергетики в аграрном секторе. Она предусматривает создание аграрных парков и энергетических ферм с целью повышения энергетической безопасности и экономической независимости страны, сбережения ископаемых видов топлива, снижения выброса парниковых газов, поддержки сельскохозяйственных регионов и создания новых рабочих мест. Для Германии наряду с трудоустройством населения характерной является проблема ограничения выпуска сельскохозяйственной продукции из-за перепроизводства продуктов питания.

*Аграрный парк* представляет собой многофункциональную производственную систему, состоящую из пашни для выращивания сырья, животноводческой фермы, предприятия по изготовлению биоэтанола, биогазовой установки, мельницы для рапса, предприятия по изготовлению пеллет. Все объекты предназначены для получения возобновляемой энергии из сырья растительного и животного происхождения и технологически увязаны между собой. Однако в реализации данной концепции существуют трудности, связанные с отсутствием квалифицированного персонала, способного обеспечить функционирование разнородных энергетических установок. Необходима широкомасштабная селекционная программа, определяющая, какие культуры выращивать для продовольствия, какие – для энергетических целей. Немаловажным является также наличие устойчивого социального положения людей, обеспеченность их продуктами питания, готовность к использованию сельскохозяйственных культур в качестве топлива.

*Энергетическая ферма* функционирует по более простой схеме и состоит из пашни для выращивания сельскохозяйственных культур, животноводческой фермы, биогазовой установки, вырабатывающей электроэнергию и теплоту, потребителей теплоты, к которым относятся собственные нужды биоустановки, здания фермы, сушильное оборудование и другие объекты.

После принятия Закона о возобновляемых источниках энергии в Германии начался бум внедрения биогазовых установок. Получила развитие тенденция превращения фермеров в энергетиков. Это значит, что наряду с производством продукции животноводства и растениеводства на фермах начинают производить электрическую и тепловую энергию из биогаза.

За последние годы только в Саксонии появилось 150 биогазовых установок. При поддержке мэра г. Барби установлено 47 биогазовых станций в прилегающей местности. Состав комплекса типовой биостанции представлен на рис. 1.

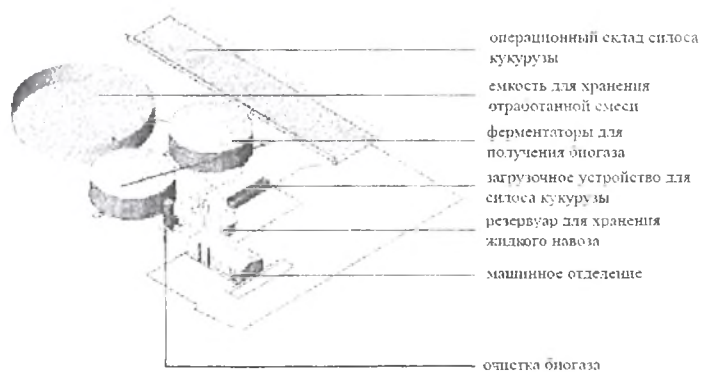


Рис. 1 Схема биогазовой станции

Основной процесс производства биогаза происходит в ферментаторах. Для сбраживания необходимо постоянно осуществлять перемешивание смеси и поддерживать ее температуру в пределах 39–42 °С. Процесс ферментации происходит за 40–100 дней. При этом около 20–30% вырабатываемой тепловой энергии потребляется на собственные нужды (в зимний период до 50%). Важным моментом в нормальном функционировании биогазовой установки является поддержание на требуемом уровне серы и кислорода в исходном сырье – навозе. Работой станции управляет компьютер, на дисплее которого отображаются все параметры работы биогазовой установки. Отработанная смесь субстрата является хорошим удобрением и 2 раза в год вносится на поля.

Для выращивания энергетических растений в Германии признаны пригодными 2 млн. Га пашни, что составляет приблизительно 12% сельхозугодий. Лучшим энергетическим сырьем считаются кукуруза, рожь и др. зерновые, так как техника и технология производства этих культур хорошо отработаны.

Все большее распространение в Германии получают тепловые насосы, предназначенные для отопления и горячего водоснабжения индивидуальных жилых домов. Для средне статического дома на 1 семью затраты электроэнергии на привод компрессора составляют около 2,7 кВт-ч, а выработка теплоты при этом составляет 11 кВт-ч.

Широко внедрены в производство также ветроэнергетические установки, фотоэлектрические преобразователи, устанавливаемые на кровле зданий гелиоводонагреватели. Накопленный Германией и другими зарубежными странами опыт по использованию ВИЭ может быть полезен Беларуси в деле реализации Концепции энергетической безопасности и экономической независимости.

## **ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОУТИЛИЗАТОРОВ В ОТОПИТЕЛЬНО- ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМАХ**

Прищепов М. А., Цубанов И.А., Цубанова И.А.

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск

При разработке конструкции теплоутилизатора для отопительно-вентиляционной системы (ОВС) важным вопросом является определение технико-экономической эффективности его применения.

С теплотехнической точки зрения теплоутилизатор характеризуется температурным коэффициентом эффективности, а с точки зрения экономии тепловой энергии необходимо стремиться к более высоким значениям этого коэффициента. Однако рост коэффициента эффективности приводит к увеличению требуемой площади поверхности теплообмена и следовательно габаритов теплоутилизационной установки. Дополнительные потери давления в теплоутилизаторе сопровож-

ждаются увеличением расхода электрической энергии на привод вытяжных вентиляторов.

Выше перечисленные факторы приводят к росту капиталовложений и эксплуатационных издержек. Увеличение этих затрат может окупиться за счет снижения потребления тепловой энергии.

Одной из задач оптимизации конструкции теплоутилизатора является определение оптимального соотношения между коэффициентом эффективности и капиталовложениями при приемлемом сроке окупаемости. Фактически задача состоит в том, чтобы при заданном сроке окупаемости установить взаимосвязь между коэффициентом эффективности и капиталовложениями.

Эффективность теплоутилизатора определяется параметрами режима его работы и параметрами геометрических конструктивных элементов. В группу рабочих параметров входят расходы воздуха, его температуры, коэффициент эффективности и скорости воздушных потоков.

Коэффициент эффективности характеризует использованную в теплоутилизаторе долю максимально возможной, теоретически доступной для утилизации теплоты. Скорости воздушных потоков характеризуют условия теплообмена и аэродинамические сопротивления теплоутилизатора по трактам воздушных потоков.

Условия теплообмена характеризуют также геометрические параметры: длина, диаметр трубок, их число.

Большое количество трубок приводит к увеличению габаритных размеров и росту капиталовложений. Невысокая скорость воздушных потоков обуславливает снижение интенсивности теплообмена между воздушными потоками. При уменьшении числа трубок резко возрастает скорость вытяжного воздуха в трубках, что приводит к росту аэродинамического сопротивления и увеличению расхода эле электрической энергии на привод вытяжных вентиляторов.

Геометрические параметры кожухотрубного теплоутилизатора находятся в тесных взаимосвязях с параметрами работы теплоутилизатора, с заданными или принятыми значениями коэффициента эффективности и скоростями воздушных потоков. Анализ условий теплообмена показывает, что не могут быть одновре-

менно заданы рабочие параметры теплоутилизатора, а также диаметр и длина трубок, принятых к установке. Для выполнения технико-экономических расчетов и определения стоимости теплоутилизатора необходимо установить зависимость для определения диаметра и числа трубок при заданном коэффициенте эффективности и оптимальных значениях скоростей воздушных потоков.

Приняв, как для долгосрочных проектов базовую процентную ставку равную  $E=0,13$  и исходя из того, что, срок окупаемости не должен превышать 3,5 года, получено уравнение для определения предельных капиталовложений:

$$K_{\text{пр}} = \frac{Ц_{\text{т}} \cdot \Delta Q_{\text{г}} - Ц_{\text{э}} \cdot W}{0,45},$$

где  $Ц_{\text{т}}$  и  $Ц_{\text{э}}$  – тарифы на тепловую и электрическую энергию;  $Q_{\text{г}}$  – годовая экономия тепловой энергии;  $W$  – расход электрической энергии на привод вытяжных вентиляторов.

Очевидно, что с точки зрения экономической целесообразности капиталовложения в энергосберегающую ОВС должны быть не больше предельных, т. е.  $K < K_{\text{пр}}$ .

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ГАБАРИТОВ КОЖУХОТРУБНЫХ ТЕПЛОУТИЛИЗАТОРОВ**

Прищепов М. А., Цубанов И. А., Цубанова И. А.

УО «Белорусский государственный аграрный технический», университет, г. Минск

При оптимизации конструкции кожухотрубных теплоутилизаторов, следует в качестве критерия оптимизации использовать габаритные размеры.

За основу конструкции возьмем стеклотрубный теплоутилизатор Теплообменная поверхность которого набрана из стеклянных трубок, размещенных вертикально в шахматном порядке. Предусмотрена перекрестная схема движения воздушных потоков. Вытяжной воздух движется внутри трубок сверху вниз, а приточный – в межтрубном пространстве.

Геометрические параметры кожухотрубного теплоутилизатора находятся в тесных взаимосвязях с параметрами работы теплоутилизатора, с заданными или принятыми значениями коэффициента эффективности и скоростями воздушных потоков. Анализ условий теплообмена показывает, что не могут быть одновременно заданы рабочие параметры теплоутилизатора, а также диаметр и длина трубок, принятых к установке. Для выполнения технико-экономических расчетов и определения стоимости теплоутилизатора необходимо установить зависимость для определения диаметра и числа трубок при заданном коэффициенте эффективности и оптимальных значениях скоростей воздушных потоков.

Получены уравнения для определения числа трубок и их внутреннего диаметра:

$$n_{\text{т}} = 133 \cdot \frac{\varepsilon^{1,68} L_1 d_n^{0,72}}{v_2^{0,43} h^{2,15}};$$

$$d_n = 9,2 \cdot 10^{-3} \frac{v_2^{0,158} h^{0,79}}{\varepsilon^{1,351} v_1^{0,368}};$$

где  $\varepsilon$  – коэффициент эффективности;  $L_1$  – расход вытяжного воздуха, м<sup>3</sup>/с;  $d_n$  – внутренний диаметр трубок, м;  $v_1$  и  $v_2$  – кинематические вязкости вытяжного и приточного воздуха при средних температурах, м<sup>2</sup>/с;  $h$  – высота трубок, м.

Анализируя полученные уравнения, можно сделать следующий вывод, что при заданных коэффициенте эффективности и оптимальных значениях скоростей воздушных потоков, уменьшения числа трубок можно достигнуть путем увеличения их длины и уменьшения диаметра трубок.

## УСЛОВИЯ ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ ВЕТРА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЭУ

Русан В.И., Казак А.В.,

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск  
РУП «НПЦ НАН Б по механизации сельского хозяйства», г. Минск

В последнее время в различных странах мира все большее внимание уделяется использованию нетрадиционных и возобновляемых источников энергии (ВИЭ), в том числе энергии ветра. При этом темпы роста ветроэнергетики очень велики: в 2000 – 2005 гг. доля ветроэнергетики увеличилась примерно на 30%. Особенно это касается европейских стран, на долю которых приходится примерно две трети мировой установленной мощности ветроэнергетических установок (ВЭУ).

В Государственной комплексной программе модернизации основных производственных фондов Белорусской энергосистемы ветровой энергопотенциал оценен в 2,4 млрд. кВт\*ч. Годовой объем его использования возрастет с 3,04 млрд. кВт\*ч в 2006 г. до 6,62 млрд. кВт\*ч в 2010 г.

Экономическая эффективность ВЭУ определяется скоростью ветра и условиями эффективного использования его энергии, а так же ее стоимостью.

Условиям эффективного использования площадей для внедрения ветроэнергетических агрегатов отвечают любые открытые пространства. По данным исследований РУП «Белэнергосетьпроект» на территории Беларуси обнаружено 1840 площадок со средней скоростью ветра 5 – 6 м/с.

Для эффективного использования энергии ветра необходимо иметь исчерпывающую информацию о его потенциале. Общеметеорологические характеристики, полученные от метеостанций, для этого недостаточны. Нужны характеристики, учитывающие природную структуру ветрового потока, пределы достоверности исходных данных и т.д.

Средняя многолетняя скорость ветра является только одним из критериев оценки эффективности ветрового потока. По ее величине в первом приближении можно судить о перспективности применения ветроустановок в том или ином районе.

Анализ существующих ветроэнергетических установок показывает, что их применение возможно, если среднемесячная скорость ветра превышает 3 м/с. Наиболее экономично применение их при скоростях ветра более 5 м/с.

На основании данных о среднемесячных скоростях ветра по данным метеостанций Беларуси можно сделать вывод о том, что ВЭУ наиболее экономично использовать для энергоснабжения на территории Минской возвышенности, в Гродненской области, у озера Нарочь. Для этих регионов среднемесячная скорость ветра превышает 4 м/с, а в отдельные месяцы года - 5 м/с.

В летние месяцы скорость ветра также снижается (с июня по сентябрь). Поэтому можно заключить, что наиболее перспективно использовать ВЭУ для энергоснабжения сельскохозяйственных объектов с октября по июнь месяцы.

Для более точного определения возможностей использования ВЭУ необходимы измерения скоростей ветра в течение определенного периода времени в тех районах, где среднемесячные скорости ветра превышают 3 м/с. На основании проведенных измерений следует определить ветроэнергетические запасы района, а затем по сравнению экономической целесообразности - источник энергоснабжения.

Для расчета основных технических характеристик и последующего выбора ВЭУ прежде всего необходимо определить энергетические параметры ветрового потока в данной местности.

Для определения энергетических параметров ветрового потока какого-либо района, необходимы данные метеонаблюдений станций Гидрометеоцентра или же измерения скоростей ветра, проводимые в местах предполагаемого строительства ветроэнергетических установок (ВЭУ).

В случае пользования данными метеонаблюдений станций Гидрометеоцентра необходимо брать наблюдения за скоростями ветра за 5-7 летний период времени. При наличии аппаратуры для измерения скорости ветра вполне достаточным является также почасовая регистрация в течение 7-9 месяцев в месте предполагаемого строительства ВЭУ.

Вероятность появления определенной градации скорости ветра определяется выражением закона распределения вероятностей Вейбулла

$$P(v) = 1 - e^{-bv^a} \quad (1)$$

где  $P$  - вероятность того, что скорость ветра достигнет или превысит величину  $v$ ;

$a, b$  - параметры закона распределения Вейбулла.

Параметры закона распределения Вейбулла необходимо определять для каждого месяца.

Вероятность появления определенной градации скорости ветра равна разнице между предыдущей и последующей вероятностью появления скорости ветра, т.е.

$$P_i = P_{i-1} - P_i$$

Удельная мощность ветрового потока, приходящаяся на  $1 \text{ м}^2$  площади поперечного сечения, определяется

$$P_{уд,i} = 1/2 \cdot \rho \cdot V_i^3 \quad (2)$$

где  $P_{уд,i}$  - удельная мощность ветрового потока, соответствующая скорости ветра  $v_i$ ;  $\rho$  - плотность воздуха, зависящая от температуры.

Удельная энергия ветрового потока, приходящаяся на  $1 \text{ м}^2$  площади поперечного сечения, определяется

$$E_{уд,i} = P_{уд,i} \cdot t_i \quad (3)$$

где  $E_{уд,i}$  - удельная энергия, соответствующая скорости ветра  $v_i$ ;

$t_i$  - ожидаемое время длительности градации ветра со скоростью  $v_i$ .

Ожидаемая длительность каждой градации скорости ветра определяется

$$t_i = \Delta p_i \cdot T \quad (4)$$

где  $T$  - число часов в месяце.

Определив удельную энергию ветрового потока, приходящуюся на  $1 \text{ м}^2$  площади поперечного сечения, необходимо составить табл.1.

Для получения данных в столбцах 26 и 27 необходимо просуммировать соответствующие показатели за каждый месяц по строкам столбцов 2, 4, 6, ..24 и 3, 5, 7, ..25. В результате в столбцах 26 и 27 получаем соответственно годовые удельные значения потенциальной энергии ветрового потока по градациям скоростей ветра и времени наблюдения этой градации.

Таблица 1 Данные ветроэнергетических расчетов по определению потенциальной энергии ветрового потока

Скорость ветра $V_i$ м/с	Месяц										Год				
	1		2		3				12						
	$E_{уд.i}$	$t_{уд.i}$	$E_{уд.i}$	$t_{уд.i}$	$E_{уд.i}$	$t_{уд.i}$			$E_{уд.i}$	$t_{уд.i}$	$E_{уд.i}$	$t_{уд.i}$	$E_{уд.i}$	$t_{уд.i}$	
1	2	3	4	5	6	7			24	25	26	27			
1															
2															
...															
$V_{imax}$															

Основными техническими характеристиками ВЭУ, знание которых необходимо для выбора ВЭУ, следует считать:

- начальную, расчетную и максимальную скорости ветра;
- номинальную мощность;
- высоту башни и диаметр ветроколеса;
- коэффициент использования энергии ветрового потока;
- быстроходность или модульность;
- кпд.

Для определения расчетной скорости ветра ВЭУ необходимо рассчитать возможное производство электрической энергии с  $1 \text{ м}^2$  сметаемой ветроколесом площади согласно выражения

$$W_{уд} = \sum_{i=1}^m P_i t_i + \sum_{n=1}^k P_n t_n \quad (5)$$

где  $P_i$  - мощность ветрового потока, соответствующая скорости ветра  $V_i$ , меньшей расчетной;  $(n-m)$  - градации скорости ветра меньше расчетной и находящейся в пределах  $V_{нач} < V < V_p$ ;  $t_i$  - время, соответствующее скоростям ветра находящимся в пределах  $V_{нач} < V < V_p$ ;  $P_n$  - расчетная или номинальная мощность;  $(k-1)$  - градация скоростей ветра соответствующее отношению  $V_p < V < V_{max}$ ;  $t_j$  - время, соответствующее скоростям ветра находящимся в пределах  $V_p < V < V_{max}$ .

Для расчетов согласно формуле (5) необходимо задаваться значениями расчетной скорости ветра от 4 до 15 м/с с интервалом 1 м/с.

Начальная скорость, при которой ВЭУ начинает вырабатывать электрическую энергию, может быть определена исходя из соотношения  $V_{нач} = V_p/2$ .

Строится зависимость  $W = f(V_p)$ . Перпендикуляр опущенный из точки перегиба зависимости  $W = f(V_p)$  на ось, по которой откладывается значение  $V_p$ , будет отсекал на этой оси численное значение расчетной скорости ветра ВЭУ исходя из условия получения максимального возможного количества вырабатываемой электроэнергии.

Согласно найденному численному значению расчетной скорости ветра по каталогу выбирается ВЭУ.

Номинальная мощность единичной ветроэнергетической установки определяется, кВт

$$P_p = 0,48 \cdot 10^{-3} \cdot D^2 \cdot V_p^3 \cdot \epsilon \cdot \eta_r \cdot \eta_n \quad (6)$$

где  $D$  - диаметр ветроколеса, м;  $V_p$  - расчетная скорость ветра;  $\epsilon$  - коэффициент использования энергии ветрового потока;

$\eta_r, \eta_n$  - соответственно КПД генератора и передачи.

Для определения расчетной или номинальной установленной мощности ВЭУ необходимо воспользоваться зависимостями расчетной мощности ВЭУ от численного значения расчетной скорости ветра и диаметра ветроколеса.

Так как в метеорологических ежемесячниках скорость ветра приводится на высоте 10 м от земной поверхности, то необходимо производить пересчет ско-

рости ветра в зависимости от выбранной по каталогу высоты башни ВЭУ согласно выражения

$$V = V_1 \frac{\ln h/h_0}{\ln h_1/h_0} \quad (7)$$

где  $V$  - скорость ветра на высоте  $h$  (высота башни выбранной ВЭУ);  $V_1$  - известная скорость ветра на высоте  $h_1$  ( $h_1 = 10$  м);  $h_0$  - высота, на которой скорость ветра в месте измерения равна нулю.

Численные значения коэффициента использования энергии ветрового потока, модульность и к.п.д. ВЭУ будут соответствовать выбранной ВЭУ согласно каталогу.

Максимально возможное производство электрической энергии в течение года при помощи выбранной ВЭУ определяется

$$W_{\text{год}} = W_{\text{уд.год}} \cdot A = W_{\text{уд.год}} (\pi \cdot D^2/4) \quad (8)$$

где  $W_{\text{уд.год}}$  - удельное годовое производство электроэнергии при заданных значениях расчетной скорости и коэффициента использования энергии ветрового потока, кВт·ч/м<sup>2</sup>;  $D$  - диаметр ветроколеса выбранной ВЭУ, м;  $A$  - площадь, ометаемая ветроколесом, м<sup>2</sup>.

Выводы:

1. К достоинствам ветровой энергии, прежде всего, следует отнести доступность данного ресурса, повсеместное его распространение и практическую неисчерпаемость. Энергоресурс не нужно добывать и транспортировать к месту потребления. Эта особенность ветра имеет особое значение для труднодоступных районов, удалённых от источников централизованного энергоснабжения, и для относительно мелких потребителей энергии, рассредоточенных на значительной территории.

2. Мощность ветрового потока пропорциональна кубу скорости ветра. Следовательно, даже относительно небольшие его изменения приводят к значительным колебаниям мощности, развиваемой ветродвигателем, в диапазоне

скоростей от минимальной рабочей, при которой ветродвигатель начинает вырабатывать полезную мощность, до расчётной, которой соответствует установленная мощность ветроэнергетической установки.

3. Для того, чтобы использование ВЭУ было экономически эффективным, необходимо руководствоваться следующими показателями:

- соответствие номинальной рабочей скорости ветра для данного типа ВЭУ показателям среднегодовой скорости ветра;
- необходимая мощность ВЭУ определяется исходя из требований потребителя;
- эксплуатационная надежность ВЭУ.

#### Литература

1. Падалко Л.П. Техничко-экономические предпосылки развития ветроэнергетики. //Энергетика и ТЭК. - Мн. – 2006. - №10 (43). - с. 18 – 21.
2. Фуад Хадж Али. Энергообеспечение автономных потребителей на основе комбинированного использования ВИЭ. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Мн. – БГАТУ. – 2001 г.

## РЕГИОНАЛЬНЫЙ УРОВНЬ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Русан В.И., Ходыко С. С.

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск

Большинство промышленно развитых стран уже подошло к тому рубежу, когда с дальнейшим ростом производства энергии издержки начинают превышать прибыль и главными лимитирующими факторами становятся вопросы (наряду с экономикой) экологии, связанные с улавливанием и очисткой вредных выбросов. «Тепловое загрязнение» планеты, «парниковый эффект», «кислородное голодание», «канцерогенная угроза» - далеко не полный перечень бед, которыми расплачивается человечество за цивилизацию и комфорт.

Это вынудило мировое сообщество принять целый ряд международных соглашений в области охраны окружающей среды, в т.ч. и Глобальный Экологич-

ный Фонд (ГЭФ). Одной из программ ГЭФ является программа малых грантов (ПМГ) ПРООН/ГЭФ.

Современная проблема энергообеспечения и энергопотребления для Беларуси, равно как и для большинства стран мира, стоит очень дорого. С целью повышения энергетической безопасности страны принят целый ряд законодательных, нормативных и директивных материалов. Так, Директива Президента Республики Беларусь от 14.06.2007 г. № 3 «Экономия и бережливость – главные факторы экономической безопасности страны» указывает основные направления работ по энергообеспечению и энергопотреблению. Например, наряду с другими даются направления по замене использования природного газа на развитие ядерной энергетики в нашей стране и использования местных видов топлива. Анализ имеющихся возможностей народнохозяйственного комплекса Республики Беларусь показывает, что при:

*1) развитию ядерной энергетики* Беларусь не имеет собственных источников ядерного топлива для АЭС и надежных захоронений отработанных ядерных материалов. Это означает, что «уход» от «газовой иглы» приведет к «ядерной игле», не говоря о радиофобии населения. Известно, что с момента открытия деления ядра урана до создания ядерного реактора прошло 3 года, а до пуска первой АЭС – 15 лет. Но до сих пор 100 % надежности безаварийной работы АЭС и утилизации отработанных ядерных отходов не обеспечило ни одно государство, даже ведущее в данном виде науки и техники.

*2) использовании местных видов топлива* имеются особенности. Так, анализ проведенных исследований показывает, что стоимость древесного топлива составляет 15 – 20 долларов США за 1 м куб. или 63 – 83 долларов США за 1 т. Одним из основных нюансов в этом вопросе является транспортировка. Если опилки и ветки необходимо доставлять более чем за 50 км., то их стоимость резко возрастет и станет сопоставимой с нынешней ценой природного газа (95 -120 тыс. долларов США за одну тонну). Кроме того, перевод на сжигание МВТ промышленно-отопительными котельными, использующих ныне газ и мазут, потребует не только реконструкции и замены котлов, но и создание площадок для хранения твердого топлива, а также золо- и шлакоудаления, что более проблематично, чем

больше населенный пункт, особенно город. Стоимость данной модернизации составляет 120 тыс. долларов США/Гкал установленной тепловой мощности. Величина затрат на перевод газомазутной котельной на твердое топливо составит, как минимум, половину этих затрат. Не маловажен здесь и экологический аспект. При сжигании МВТ выбросы в атмосферу многократно увеличатся, хотя они менее вредны, чем выбросы от мазута и угля. Поэтому котельные и ТЭЦ должны быть непременно оснащены эффективными системами очистки дымовых газов.

Стратегической целью ПМГ ПРООН/ТЭФ в Беларуси является концентрация усилий местного населения, общественных организаций и местных органов власти в ходе реализации малых природоохранных проектов (до 50 тыс. долларов США). Данные мероприятия путем практических действий на местах помогут улучшить условия их жизни и внести значительный вклад в охрану окружающей среды путем: достижения измеримых улучшений в области локальной и глобальной окружающей среды; увеличение доходов населения и создание новых рабочих в сельской местности; создание потенциала для улучшения организационных возможностей и институциональных механизмов при разработке, выполнении и мониторинге планов и проектов; диалога и расширения информации; улучшения осведомленности среди заинтересованных лиц, принимающих соответствующие решения.

Проведенные исследования показали возможность реализации такого проекта в Боровлянском регионе, находящемся к северо-востоку от г. Минска. В нем расположены 16 населенных пунктов, 18 новых районов индивидуальной застройки и проживает свыше 20 тыс. человек. В регионе работают: единственный в Беларуси НИИ онкологии и медицинской радиологии им.

М.М. Александрова; Минские областная клиническая и районная больницы; Республиканский госпиталь инвалидов ВОВ; Республиканский научно-практический центр детской онкологии и гематологии; детская деревня семейного типа «Kinder Dorf SOS»; центр по реабилитации онкобольных детей и сиротский дом; два предприятия по производству сельскохозяйственной продукции (1-я Минская птицефабрика и СХП «Боровляны» ЗАО «ВЦ «Аквабел»); наиболее крупные предприятия: ЗАО «ВЦ «Аквабел», УП «Минскводстрой», К-126, ПМК

«Забудова», ДРП «Жуков Луг», Боровлянского ПП ИСОХ, асфальтный завод и др; Республиканский учебно-практический центр обучения новым технологиям и освоения комплексов машин, а также кафедры практической подготовки студентов и производственного обучения УО «БГАТУ».

Таким образом, Боровлянский регион не только входит в мегаполис г. Минска, но и является лечебно-оздоровительным, спальным и производственным регионом, что диктует необходимость жестких требований к энергообеспечению, энергопотреблению с одновременной охраной окружающей среды.

Для обеспечения центральной части региона тепловой энергией используются 3 котельные (п. Лесной, п. Боровляны, п. Лесковка), анализ работы которых приведен в табл. 1 (по данным ЖКХ Минского р-на).

Таблица 1 Показатели работы котельных Боровлянского региона в 2006 г.

№№ п/п	Показатели	Котельные п.Боровляны	п.Лесной	п.Лесковка
1	2	3	4	5
1	Выработано тепловой энергии, Гкал	16179,8	85580,0	1281,9
2	Расход газа, куб. м	2613111	12028640	327627
3	Расход электроэнергии, тыс. кВт.ч	732,5	2418,5	139,9
1	2	3	4	5
4	Стоимость потребленного газа, млн.руб.	653,3	3007,2	81,9
5	Стоимость потребленной электро-энергии, млн. руб.	148,3	489,5	28,4
6	Затраты природного газа и электро-энергии на производство 1 Гкал тепловой энергии, тыс. руб.	49,5	40,9	86,1
7	Объем выбросов CO, т.	21950,1	101040,5	2752,1
8	Объем выбросов NOx, т.	2600,1	11968,5	326,0
9	Количество выбросов, приходящихся на производства 1 Гкал тепловой энергии, т.			
	Всего,	1,52	1,32	2,41
	В т.ч. CO	1,36	1,18	2,15
	В т.ч. NOx	0,16	0,14	0,26

Общезвестно, что проблема охраны окружающей среды от промышленных, бытовых и других загрязнений приобрела в настоящее время не только технико-экономическое, но и большое социальное значение. Введенные в воздух частицы выбросов уменьшают видимость, проникают в дыхательные

пути человека и животного, оказывают вредное влияние на их здоровье. Сернистый ангидрид даже в малых концентрациях действует раздражающе на слизистую оболочку и дыхательные пути. Одновременно он является ядом для многих растений и деревьев, особенно хвойных и фруктовых. Диоксид серы ускоряет коррозию металла и разрушает камень. Окись углерода и диоксид азота вступают в соединение с гемоглобином крови и при больших концентрациях угрожают жизни человека. Наличие обычных аэрозолей диоксида азота в сочетании с повышенной влажностью приводит к снижению видимости и препятствует проникновению ультрафиолетовых лучей. Это вынудило мировое сообщество принять целый ряд международных соглашений в области охраны окружающей среды, в том числе по:

а) защите озонового слоя (Венская конвенция по защите озонового слоя (1985) и Монреальский протокол по веществам, разрушающим озоновый слой (1987);

б) глобальному изменению климата (рамочная конвенция ООН об изменении климата (1992) и Киотский протокол к рамочной конвенции ООН об изменении климата (1997). Киотским протоколом предусмотрено регулирование эмиссии парниковых газов ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{SF}_4$  и др.).

Кроме того, проведенные обследования по заданию Госкомконтроля Минской обл. предприятий и организаций по выполнению постановления Совета Министров Республики Беларусь от 23.06.2006 г. № 795 «О подготовке народного хозяйства республики к работе в осенне-зимний период 2006-2007 годов» выявил целый ряд замечаний и недостатков по обучению и экономной эксплуатации энергетического оборудования.

Выше отмеченное диктует необходимость по исследованию и разработке необходимых информационных материалов и натуральных образцов по экологически эффективным способам и средствам энергообеспечения и энергопотребления с максимальным вовлечением специалистов, общественности и местного населения в образовательный процесс.

Представляет практический интерес разработка проектного предложения «Разработать экологичную энергоэффективную систему энергообеспечения с использованием возобновляемых источников энергии на примере Боровлянского региона», заявителем которого может быть местный орган власти – Боровлянский сельский исполнительный комитет. Целью данного мероприятия является создание условий для широкомасштабной информационно-пропагандистской деятельности по уменьшению экологической нагрузки на окружающую среду при энергообеспечении и энергопотреблении потребителей среди специалистов, общественности и местного населения путем обучения и демонстрации на практике преимуществ внедрения экологичных энергоэффективных мероприятий. Для реализации поставленной цели необходимо решение следующих задач.

- Проведение обследования энергонасыщенности субъектов хозяйствования Боровлянского региона и определение направлений информационно-просветительской работы и натуральных образцов экологичной энергоэффективной системы.

- Расчеты мощностных параметров и обустройство натуральных образцов, действовавших в эксплуатационных режимах реальных технологических процессов.

- Разработка курса лекций и наглядных пособий для специалистов и общественности по снижению экологической нагрузки на окружающую среду, эффективному энергообеспечению и энергопотреблению на примере Боровлянского региона.

- Создание на кафедре ППС (п. Боровляны) постоянно действующего центра по экологии и энергосбережению.

- Организация и проведение республиканской и/или международной конференции по экологически безопасным и энергосберегающим способам и средствам энергообеспечения и энергопотребления.

- Поиск дополнительного софинансирования (спонсоров) в имущественных и денежных взносах в размере не ниже 25 тыс. долларов США.

По результатам выполненного проекта могут быть получены следующие результаты:

- местоопределение и оснащение полигона натуральных образцов экологичной энергоэффективной системы энергообеспечения и энергопотребления;
- цикл лекций и наглядной информации для школьников, студентов, специалистов и общественности по проблемам охраны окружающей среды и энергосбережению субъектами хозяйствования;
- проведение информационных компаний в региональных и республиканских СМИ, а также в научно-технической литературе по конкретным природоохранным и энергосберегающим способам и средствам;
- организация курсов для специалистов АПК по экологичным и энергоэффективным системам производства и переработки продукции;
- обмен опытом (региональный, республиканский и/или международный) по проблемам защиты окружающей среды путем эффективного энергообеспечения и энергопотребления.

Все проблемы энергосбережения и охраны окружающей среды решить одновременно не предоставляется возможным из-за ограниченности финансовых средств. Более приемлемым вариантом является создание демонстрационных зон высокой энергетической эффективности на базе регионов, предприятий или организаций, наиболее успешно решающих вышеотмеченные проблемы для пропаганды и широкого внедрения в аналогичных регионах, на предприятиях или организациях научных разработок по предлагаемой тематике.

Поэтому представляет практический интерес после окончания данного проекта материально-технические ценности, полученные в ходе его осуществления целесообразно передать кафедре ППС УО «БГАТУ» для постоянно действующей информационно-пропагандистской деятельности.

#### Литература

1. Программа малых грантов ПРООН/ГЭФ в Беларуси: расширение возможностей охраны окружающей среды. –Мн.: Белээнс, 2006 – 40 с.

2. Рукопись проектного предложения «Разработать экологичную энергоэффективную систему энергообеспечения сельскохозяйственных объектов с использованием возобновляемых источников энергии на примере Боровлянского региона. –Мн.: УО БГАТУ, кафедра ППС, 2007 г.

## **О ПРИМЕНЕНИИ ЭНЕРГОРЕСУРСΟΣБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ АГРОГОРОДКОВ**

Русан В.И., Чугаевский Е.В

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск

В соответствии с Государственной программой возрождения и развития села на 2005-2010 г.г. проводится строительство агрогородков, которые имеют ряд специфических требований и особенностей по условиям энергообеспечения.

Существуют различные источники энергии – традиционные (тепловые электростанции, атомные электростанции, котлы, компрессорные установки и так далее), вторичные (котлы-утилизаторы, тепловые насосы, холодильники) и альтернативные (ветроэнергостанции, биореакторы, гелиоподогреватели), которые могут быть использованы для энергообеспечения агрогородков.

Нетрадиционные источники энергии могут быть использованы преимущественно для автономного энергообеспечения объектов. Например, жизнедеятельность ферм, агрогородков, садовых участков вполне может быть обеспечена с помощью возобновляемых источников энергии.

В настоящее время уже имеются реальные проекты подобных решений. Уровень реальной мощности солнечных нагревательных установок можно получать только с огромной поверхности коллектора, поскольку КПД преобразования солнечной энергии в электрическую сегодня не превышает 20%. Для получения 100 мВт мощности необходим гелиоприемник с площадью более одного квадратного километра.

А фотоэлектрическая панель площадью в квадратный метр позволяет получать до 100 Вт электроэнергии, а этого достаточно, чтобы в теплое время года обеспечить себя теплой водой на садовом участке. Потому подобные установки уже используются на практике.

Ветроэлектрические установки способны обеспечивать электроэнергией метеостанции, лесопункты, фермерские хозяйства, коттеджи. Средняя мощность такой установки с диаметром колеса в 5 метров составляет в наших условиях около 4,2 кВт.

Тепловой насос (умножитель теплоты) может использовать даже небольшие температуры окружающей среды для выработки энергии. Основаны такие установки на принципе, похожем на принцип холодильника: тепло собирается из пространства и затем конденсируется через сжатие холодильного агента. Установки эти довольно дорогостоящи, но окупаются уже года за два.

В Беларуси тепловые насосы – новинка, а в развитых странах эти устройства давно производятся и успешно эксплуатируются. В настоящее время в мире работает свыше 10 миллионов тепловых насосов различной мощности - от нескольких кВт до сотен мВт. В Беларуси же установлено и работает около 10 установок, хотя условия для их развития у нас самые благоприятные.

Существует множество возможных технических мер повышения энергоэффективности агрогородков, но в каждом конкретном случае целесообразно начинать с проведения энергетических обследований - именно они позволят определить наиболее актуальные вопросы, которые будут решаться в зависимости от местных условий и по выбору энергосберегающих технологий.

При решении вопросов теплоснабжения традиционно в качестве обогревателя в помещении устанавливается бойлер. Но вместо бойлеров возможно устанавливать пароструйные насосы, которые могут одновременно нагревать воду, и по трубам ее перекачивать, тогда отпадает необходимость в дополнительных насосах с электроприводом. Окупается такой насос в течение года-двух в зависимости от модели и стоимости.

Экономия или потери энергии зависят от эффективности всех конструкций и строений, начиная от свойств кирпича или технологии укладки кровли и кончая правильной системой разводки труб в доме. Застройщики домов могут очень существенно повлиять на экономичность будущего жилья. Причем к этому вопросу необходимо подходить комплексно, если не хватает одной из необходимых составляющих, то технико-экономическая эффективность варианта значительно снижается.

Экономии энергоресурсов можно добиться регулированием отопительной системы. Известно несколько принципов, на которых ее регулирование. У нас наиболее распространено эквитермальное регулирование, которое управляет режимом отопления на основании температур, измеряемых в помещении и вне дома. В усовершенствованном виде оно может учитывать и температуру обратного теплопровода, но не обеспечивает режимы, когда необходимо быстрое изменение температурных установок или когда требуется поддержание постоянной разницы температур в различных помещениях. Поэтому происходит переотапливание одних помещений и недоотапливание других, что приводит к потерям тепла и дополнительным затратам. Этих недостатков можно избежать, используя иной принцип – термостатический, который он должен быть осуществлен комплексно.

Одним из путей экономии энергетических ресурсов является также минимизация теплопотерь через ограждающие конструкции зданий и сооружений, то есть их качественная теплоизоляция. Следует также учитывать, что затраты на изготовление теплоизоляционных конструкций при строительстве агрогородков должны быть минимальными. Еще на этапе проектирования необходимо оценить, какое количество тепла будет терять дом, чтобы выбрать конструкцию ограждений, теплоизоляционный материал и систему отопления.

При возведении стен наиболее эффективной специалисты считают технологию вентилируемого фасада, при которой предусматривают воздушную прослойку (около 20 мм). Имеется еще одна технология — внутренняя теплоизоляция. При выполнении таких работ используется пенополиуретан, который в виде напыления наносится слоем 2-3 см на внутреннюю сторону стены.

Проведенные эксперименты позволили выработать основные направления для достижения более высокого уровня теплозащитных качеств наружных кирпичных стен без увеличения их толщины. Эта технология базируется на выпуске керамических плит крупных размеров, снижении их плотности созданием пустот с рациональными размерами, что позволяет существенно снизить расход раствора в кладке стены, повысить пористость черепка введением в состав шихты комплекса выгорающих добавок.

Существует технология изготовления кирпича буквально из отходов - из золы, остающейся после производственных циклов ТЭЦ, которую просто сбрасывали в отвалы, занимая значительные площади. С экологической точки зрения новый кирпич из легкого материала ничуть не хуже, а по уровню радиации имеет даже меньшие показатели, чем обычный красный или силикатный кирпич.

"Термолюкс" - так называли сверхтеплый кирпич - хорошо дышит, обладает высокой тепловой инерцией. Стена из "термолюкса" выходит более чем в два раза теплой, чем стена из обычного кирпича. Уникальность материала в том, что материалы, обладающие хорошими теплоизоляционными свойствами, как правило, имеют малую прочность и не являются несущими. А "Термолюкс" пригоден и для строительства многоэтажных зданий. Точные размеры кирпича позволяют не трать лишний раствор на его укладку. Этому же способствует и то, что верхняя постель кирпича сплошная: раствор не проваливается в пустоты и не нарушает теплотехнические свойства материала. Воздушные перемычки внутри кирпича расположены в шахматном порядке, так что не образуется "мостиков холода", по которым холод проникал бы в дом. Единственную сплошную линию образует внешняя тычковая стенка, но если и сами кирпичи при кладке располагать в шахматном порядке, то этот "мостик холода" уравнивается пустотами соседнего кирпича. Получается своеобразный термос...

При поиске и создании эффективных теплоизоляционных материалов на базе максимально дешевых сырьевых ресурсов большое значение имеет критерий экономии ТЭР при производстве теплоизоляционных материалов. Этому критерию соответствует эковата — материал, который успешно эксплуатируется в Канаде,

Финляндии и других странах Западной Европы. Для производства эковаты используются отходы бумажной макулатуры, которые «связываются» специальными добавками. Добавки придают эковате особые свойства: антисептики улучшают устойчивость к биологическим воздействиям, антипирены повышают огнестойкость, гидрофобизаторы снижают водопоглощение и т. д.

К преимуществам эковаты относится возможность создания теплоизоляционных систем с широким диапазоном показателей качества в зависимости от способа устройства теплоизоляции.

Наиболее дешевым теплоизоляционным материалом по параметру соотношения цены и теплозвукоизоляции является пеноизол – это экструдированный пенопласт, получаемый путем вспенивания карбамидной смолы с последующей полимеризацией. По внешнему виду и техническим характеристикам пеноизол является недорогим аналогом пенополистирола. К тому же, его очень легко монтировать. Пеноизол выпускается в листах, которые укладываются на пол и сверху заливается бетонным раствором. С учетом коэффициентов теплопроводности, он дешевле в 1,5 раза минеральной ваты, в 1,3 раза стеклянного штапельного волокна, как минимум в 1,5 раза пенополистирола, в 6,6 раз экструдированного пенополистирола, и в 4,7 раз базальтовых плит.

При использовании пеноизола для утепления зданий затраты на отопление снижаются в несколько раз, и при этом стоимость всех работ покрывается менее, чем за один отопительный сезон.

В соответствии с СТБ 1246-2000 Республики Беларусь, пеноизол предназначен для тепловой изоляции зданий и сооружений в качестве среднего (внутреннего) слоя строительных ограждающих конструкций.

Среди новых материалов также можно отметить отражающую изоляцию, покрытую металлизированной пленкой, которая помимо выполнения функций утеплителя, может защищать здание от влаги. Сочетая нетрадиционные материалы с уже применяемыми можно достичь необходимого уровня качества, и снижения себестоимости работ. Однако полностью перейти на использование новых материалов компаниям пока не позволяет их финансовое положение.

Следует также остановиться на технологии использования электрической энергии для отопления. С одной стороны, такую технологию желательно избегать, поскольку получается двойная переработка энергоресурсов. Но с другой стороны, есть в этом и свои особенности. В частности, перед всеми электростанциями стоит вопрос использования внекикловой энергии, вырабатываемой в ночное время. Эту энергию целесообразно аккумулировать, что выгодно и в экономическом и в экологическом отношении. Такие теплонакопители уже существуют, их теплоаккумулирующее ядро нагревается за ночь до 650 °С и постепенно отдает тепло в течение дня.

Для локальных потребителей в агрогородке при хорошей теплоизоляции в помещении удобно использовать газовый котел, который энергией может обеспечить весь дом.

Для обогрева жилых и общественных помещений может быть использован разработанный в настоящее время низкотемпературный аккумулятор тепловой энергии на основе использования материалов фазового перехода.

## **НЕСТАЦИОНАРНОЕ ТЕМПЕРАТУРНОЕ ПОЛЕ ТЕПЛОИЗОЛИРОВАННОГО СЛОЯ ГЕЛИОКОЛЛЕКТОРА КОНЕЧНОЙ ТОЛЩИНЫ**

Соболь В.Р. ,

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск

Кириленко А.И. МГВАК, г. Минск

В предыдущей работе были представлены некоторые соображения о целесообразности применения проводящих материалов для изготовления конверторов солнечной энергии. Сопоставлены сравнительно высокая теплопроводность и достаточно низкая теплоемкость проводников, которые определяются уровнем возбуждения электронов проводимости и колебаний кристаллической решетки. Было высказано мнение, что при надлежащей изоляции конвертера энергия излучения может быть рационально направлена на нагрев жидкофазного теплоносителя, транспортирующего низко-потенциальное тепло к накопите-

лю энергии [1]. Расчет выполнен в приближении малой толщины нагреваемого слоя коллектора.

В данном сообщении представлены результаты расчета температурного поля коллектора с учетом конечной толщины и теплопроводности его материала. В реальных условиях непременно существует перепад температуры, который зависит от теплопроводящих свойств и толщины изолирующей оболочки. Такая модель расчета оправдана в том смысле, что тепловая изоляция конечной толщины из реального материала не позволяет задавать краевое условие удобное в смысле математики об отсутствии тепловых потерь со второй стороны пластины-коллектора. Приведенные результаты анализа температурного поля в толстостенном слое гелиоколлектора, изолируемого со стороны, где лучистый поток отсутствует, позволяют оценить воздействие на температурное поле в коллекторе изолирующих материалом с низкой теплопроводностью (войлок, минеральная вата, пенопласт и т.д.).

Итак по условиям принятой модели к плоской поверхности пластины конечной толщины, частично изолированной с одной стороны, подводится тепло с постоянной скоростью начиная с некоторого момента времени. Требуется найти температуру  $T$  внутри пластины в зависимости от координаты  $x$  и времени  $t$ . Такая задача формализуется стандартным одномерным уравнением диффузии с заданными неоднородными краевыми условиями [2].

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} - \frac{c\rho}{\lambda} \frac{\partial T}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

Здесь  $c$ ,  $\lambda$ ,  $\rho$  – удельная теплоемкость, теплопроводность и плотность материала пластины коллектора. В качестве граничных условий выберем, что в области падения излучения, при  $x = 0$  существует поток тепла  $-\lambda \frac{\partial T}{\partial x} = q$ , а на противоположной стороне при  $x = D$  поток тепла подходящий со стороны внутренней нормали к поверхности, равняется потоку тепла уходящему через изолирующий слой. При этом постулируем, что отводимый через слой изолятора поток характе-

ризуется линейной зависимостью температуры от координаты:

$$-\lambda \left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=D} = \frac{T' - T_0}{d}, \text{ здесь } T' - \text{ температура структуры на границе раздела между}$$

ду коллектором и изолятором.

Качественная зависимость температуры от времени ясна из физических соображений. После начального переходного режима следует ожидать линейный рост температуры со временем в каждой точке. Следовательно, можно искать частное решение в виде  $T_1 = U(x) + \alpha t$ . Это приводит к разделению переменных,

причем уравнение для  $U$  имеет вид  $\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} = \frac{c\rho}{\lambda} \alpha$  с решением  $U(x) = \frac{c\rho}{2\lambda} \alpha x^2 + ax + b$ .

Для этого частного решения величину  $b$  можно выбрать произвольно, а константы

$a$  и  $\alpha$  определить из краевых условий:  $-\lambda \left. \frac{\partial U}{\partial x} \right|_{x=0} = q$ ;  $-\lambda \left. \frac{\partial U}{\partial x} \right|_{x=D} = -\lambda_1 \frac{U(D) - T_0}{d}$ ,

здесь  $\lambda_1$  и  $d$  – теплопроводность и толщина изолирующего слоя,  $T_0$  – температура окружающей среды.

Решение удовлетворяющее этим условиям и соответственно частное решение для  $T_1$  равно

$$T_1 = \frac{1}{2} \frac{c\rho}{\lambda} \frac{qD \frac{\lambda_1}{\lambda} - T_0 \lambda_1 + qd}{c\rho Dd - \frac{1}{2} \frac{c\rho \lambda_1}{\lambda} D^2} x^2 - \frac{q}{\lambda} x + \frac{qD \frac{\lambda_1}{\lambda} - T_0 \lambda_1 + qd}{c\rho Dd - \frac{1}{2} \frac{c\rho \lambda_1}{\lambda} D^2} t \quad (2)$$

Для дальнейшего продвижения следует найти общее решение однородного уравнения  $T_2$  при однородных граничных условиях, которое выберем в виде

$$T_2 = \sum_n C_n \text{Cos} \left( \frac{n\pi}{D} x \right) e^{-\xi_n t} \quad (3)$$

Тогда общее решение задачи можно записать как сумму решений однородной задачи и частного решения неоднородной задачи.

$$T \approx \left[ \frac{c\rho}{2\lambda} \frac{qD \frac{\lambda_1}{\lambda} + qd}{c\rho Dd - \frac{c\rho \lambda_1}{2\lambda} D^2} x^2 - \frac{q}{\lambda} x \right] \left[ 1 - \frac{1}{\pi} \sum_n \frac{1}{n} \text{Cos} \left( \frac{n\pi}{D} x \right) e^{-\xi_n t} \right] + \frac{qD \frac{\lambda_1}{\lambda} + qd}{c\rho Dd - \frac{c\rho \lambda_1}{2\lambda} D^2} t$$

В полученном решении постоянные  $C_n$  определены из условия: в начальный момент времени  $t = 0$  температура структуры равна нулю по всему объему  $T_0 = 0$ :  $T(x,0) = T_1(x,0) + T_2(x,0) = 0$ . При определении использовано условие ортогональности собственных функций общего решения. Постоянная разделения переменных в общем решении однородной задачи  $\xi_n$  связана с параметрами среды следующим образом  $\xi_n = \frac{n^2 \pi^2 \lambda}{D^2 c \rho}$ . Индекс  $n$  в решении является на самом деле целым числом  $n = \frac{2k+1}{2}$ , где  $k = 0, 1, 2$  и т.д. Как и принято в подобных ситуациях при рассмотрении температурной структуры на больших временах достаточно ограничиться начальными членами суммы.

#### Литература

1. Соболев В.Р., Кириленко А.И. К проблеме использования излучения солнца как дополнительного возобновляемого источника энергии. // Перспективы и направления развития энергетики АПК. Материалы Международной научно-технической конференции. 29-30 ноября 2006. г. Минск. С. 141 – 143.
2. Мэтьюз Дж., Уокер Р. Математические методы физики. Москва: Атомиздат 1972. 399 с.

## БЕСПЛОТИННАЯ ГИДРОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СТАНЦИЯ

Сычик В.А.,

УО «Белорусский национальный технический университет», г. Минск

Русан В.И.,

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск

На малых реках часто используются гидроэлектростанции [1], которые структурно содержат несущую раму, погруженную под уровнем воды, установленный на ней ряд реактивных гидротурбин, размещенных в отдельных корпу-

сах и соединенных при помощи конических зубчатых передач с выходными валами, с которыми посредством муфт связан электрогенератор.

Также находят применение речные гидроэлектростанции, в состав которых входят электрогенераторы, установленные на основании, причем турбинное колесо жестко связано с валом и закрытое защитным кожухом. Эти типы электростанций обладают невысокой надежностью в работе и низким КПД.

Нами разработана конструкция бесплотинной гидроэлектростанции, которая обладает высокими КПД, надежностью в работе и упрощенной структурой.

Конструктивно речная гидроэлектростанция (РГЭС) содержит водозаборник в форме корытообразной прямоугольной призмы, который снабжен шлюзовым отсеком (шлюзом) и обводным каналом- водоводом, заканчивающийся соплом. Снизу возле сопла размещена гидротурбина с подшипниками-опорами, на которую воздействует вытекающий из сопла ускоренный водяной поток. Гидротурбина соединена посредством вала с электрогенератором.

Водозаборник представляет корытообразную прямоугольную призму, выполнен из железобетона. Его габариты зависят от размеров реки, на которой он устанавливается. В центральной стене, на которую воздействует речной поток, установлен шлюз стандартной конструкции. Шлюз обеспечивает сброс лишней речной воды весной во время половодий и в момент сильных дождей.

Гидротурбина установлена на подшипниковых опорах на бетонном основании в специальном помещении и кинематически через вал с редуктором соединена с трехфазным электрогенератором.

При размещении РГЭС на малой реке с достаточно высокими берегами в водозаборнике накапливается уровень речной воды и создается по уровню водовода водяной напор. Объем воды, протекающий через сечение  $S$  водовода находится из выражения

$$V = SUt, \quad (1)$$

а объемный расход воды через водовод

$$Q = SU. \quad (2)$$

В выражениях (1), (2)  $U$  – скорость истечения воды из водозаборника в водовод;  $t$  – время истечения жидкости.

Протекающая по наклонному вверх с неизменным эллиптическим сечением водоводу вода поднимается с учетом исходного ее напора в водозаборнике и кинетической энергии потока на суммарную высоту 4...6 метров, а затем на наклонном вниз участке водовода, сужающегося по пологой экспоненте, она накапливает энергию, равную сумме потенциальной и кинетической энергии и составит

$$W = \rho gh + \frac{1}{2} \rho V_c^2, \quad (3)$$

где  $\rho$  – плотность воды;  $g$  – ускорение свободного падения;  $h$  – перепад высот понижающейся части водовода и сопла;  $V_c$  – скорость водяного потока на выходе сопла.

С учетом уравнения неразрывности струи

$$V_b S_b = V_c S_c \quad (4)$$

где  $V_b$ ,  $V_c$  – скорость потока воды на входе водовода и на выходе сопла;  $S_b$ ,  $S_c$  – сечение водовода на границе с водозаборником и сопла, скорость истечения водяного потока из сопла достигает десятков метров в секунду. Этот водяной поток, обладая высокой суммарной энергией, воздействует на гидротурбину, приводя ее во вращение. Вал гидротурбины приводит во вращение ротор электрогенератора с требуемой скоростью, которая при необходимости корректируется редуктором электрогенератора. Происходит непрерывная выработка электрической энергии электрогенератором. Избытки накопленной в водозаборнике воды непрерывно отводятся шлюзом в продолжение русла реки.

В результате того, что водозаборник выполнен в форме корытообразной прямоугольной призмы, снабжен шлюзовым отсеком, водоводом, причем водовод выполнен замкнутым эллипсообразным в форме пологой экспоненты, снабжен соплом и наклонен вверх на длину  $(0,2...0,5)l$  под углом  $10...30$  градусов, затем вниз в пределах  $5...20$  градусов, в сравнении с аналогами упроща-

ется конструкция речной гидроэлектростанции, повышается ее КПД, оптимально используется энергия малых рек.

Разработан лабораторный макет речной гидроэлектростанции, который, как показали результаты лабораторных испытаний, эффективно использует энергию речного потока. Созданная РГЭС, ширина водозаборника которой составила 30 метров, высота 5 метров, сечение водовода  $20 \text{ м}^2$  позволяет генерировать электроэнергию мощностью 400...600 кВт при этом ее КПД больше чем в 1,8 раза превышает КПД речных гидроэлектростанций-аналогов.

Промышленное освоение предлагаемой речной гидроэлектростанции возможно на предприятиях гидротехнического строительства и энергетики.

#### Литература

1. Авт. свид. СССР 1300188, МКИ<sup>4</sup>, F03 В 13/12.
2. Патент США 4104536, МКИ<sup>4</sup>, F03 В 13/00.
3. Авт. свид. СССР 1798531, МКИ<sup>5</sup>, F03 В 13/00.

## **ВЫСОКОЭФФЕКТИВНАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ С ВРАЩАТЕЛЬНЫМ ВОДЯНЫМ ПОТОКОМ**

Сычик В.А.,

УО «Белорусский национальный технический университет», г. Минск

Русан В.И.,

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск

Для использования энергии малых рек находят применение гидроэлектростанции [1-3], в состав которых входят плотина, обводной канал-водовод с водозаборником, где размещены турбины установленные на домкратах электрогенераторов, кинематически связанных с турбинами. Обводной канал покрыт бетонными плитами. К недостаткам речных электростанций указанной структуры следует отнести: сложная и громоздкая конструкция, сравнительно низкий КПД и сложная система передачи вращения от гидротурбины к электрогенератору.

Нами создана конструкция речной бесплотинной электростанции с вращательным водяным потоком, которая обладает достаточно простой конструкцией и высоким КПД.

Речная электростанция (РЭС) конструктивно содержит корпус цилиндрической формы с размещенной внутри его гидротурбиной. Корпус с гидравлическим аккумулятором неподвижно установлен в земляном или бетонном основании. Гидротурбина посредством вала кинематически связана с электрогенератором. Речная электростанция также содержит водозаборник в форме корытообразной прямоугольной призмы, который снабжен шлюзовым отсеком и обводным каналом-водоводом, содержащим не менее двух магистралей цилиндрической формы, сопряженных с соплами эллипсообразной формы.

Корпус РЭС выполнен цилиндрической формы из высокопрочного, устойчивого к химическим средам материала, например из чугуна, железобетона, керметных материалов. Диаметр корпуса выбирается с учетом требуемых гидроэнергетических параметров водяного потока, размеров гидротурбины, номинальной мощности РЭС и может составлять величину 2...10 метров.

Гидротурбина стандартного типа с вертикальным расположением лопастей размещена вертикально в верхней части корпуса РЭС на подшипниках – опорах требуемых габаритов и мощности. На шейке вала гидротурбины может быть размещен гидравлический метатель, который выполнен в виде сегнерового колеса, что дополнительно повышает крутящий момент на валу гидротурбины, то есть ее мощность. Выше гидротурбины на корпусе РЭС размещены выпускные сопла выше уровня речной воды, через которые осуществляется слив прошедшего через гидротурбину водяного потока в сливной канал.

При размещении РЭС на малой реке с достаточно высокими берегами в водозаборнике накапливается уровень речной воды и создается по уровню водовода водяной напор. Объем воды, протекающей через сечение  $S$  водовода находится из выражения  $V = SUt$ , а объемный расход воды через водовод

$$Q = V/T = SU. \quad (1)$$

В выражении (1)  $U$  – скорость течения воды из водозаборника в водовод;  $t$  – время истечения жидкости. Вытекающая из водовода сечением  $S$  вода равномерно распределяется по сопряженным с водоводом магистралям и затем поступает в сопла.

С учетом уравнения неразрывности струи:

$$V_m S_m = V_c S_c, \quad V_c = V_m S_m / S_c, \quad (2)$$

где  $V_m, V_c$  – скорость потока воды на выходе магистрали и и на выходе сопла;  $S_m, S_c$  – сечение магистрали и сопла на его выходе, скорость истечения водяного потока в корпусе РЭС достигает десятков метров в секунду. Вследствие тангенциального размещения сопел происходит преобразование поступательного движения водяного потока в цилиндрическом корпусе во вращательное. Получив от гидравлического аккумулятора вращательно – поступательные движения вращающийся водяной поток в цилиндрическом корпусе воздействует на лопатки гидротурбины, заставляя ее вращаться с заданной скоростью. Вал гидротурбины приводит во вращение ротор электрогенератора с требуемой скоростью, которая при необходимости корректируется редуктором. Происходит непрерывная выработка электрической энергии электрогенератором. Избытки накопленной в водозаборнике речной воды по сверхдопустимому уровню непрерывно отводятся шлюзом в продолжение русла реки.

В результате того, что корпус РЭС цилиндрической формы смонтирован вертикально, снабжен гидравлическим аккумулятором в виде пустотелого конуса, сопряженного большим основанием с пустотелой замкнутой полусферой, при этом водовод содержит не более двух магистралей цилиндрической формы, сопряженных с соплами эллипсообразной формы и сужающимися по пологой экспоненте, а сопла размещены концентрично по корпусу и расположены тангенциально по вертикали большей эллиптической осью, решается поставленная техническая задача: в сравнении с электростанциями-аналогами упрощается конструкция речной электростанции, повышается ее КПД, оптимально используется энергия малых рек.

Разработан лабораторный макет речной электростанции, который, как показали результаты лабораторных испытаний, эффективно использует гидравлическую энергию малых рек.

Созданная речная электростанция, ширина водозаборника которой составляет 20 метров, высота 3 метра, диаметр магистралей  $\varnothing = 2$  метра и большая ось эллиптического сечения сопел составила 1,5 метра позволяет генерировать энергию 300...800 кВт, при этом ее КПД более чем в 1,5 раза превышает КПД речных электростанций – аналогов.

Промышленное освоение предлагаемой речной электростанции возможно на предприятиях гидротехнического строительства и энергетики.

#### Литература

1. Авт. свид. СССР 1300188, МКИ<sup>4</sup><sub>1</sub> F<sub>03</sub> В 13/12
2. Патент США 4104536, МКИ<sup>4</sup><sub>1</sub>, F<sub>03</sub> В 13/00
3. Авт. свид. СССР 1798531, МКИ<sup>5</sup><sub>1</sub>, F<sub>03</sub> В 13/00

### **ЭФФЕКТИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕСТНЫХ ВИДОВ ТОПЛИВА**

Усов Г.Г.,

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск

Микулич С.И., Глубокские электрические сети, г. Глубокое.

Проблема энергосбережения является важнейшим и приоритетным направлением. Толчком к развитию энергосберегающих технологий на западе стал энергетический кризис в 70-х годах, а для Беларуси стремительное повышение цен на импортируемые энергоносители. Предугадать, какие будут цены на нефть и газ сложно. Это заставляет потребителей вспомнить о местных видах топлива: торф, дрова, щепы, солома и созданию собственных котельных, как более надежных и дешевых источников тепла.

Представляется возможность избавиться от ведомственной зависимости, когда вентиль с горячей водой могут перекрыть, а альтернативу предлагают не всегда. Мобильное котельное оборудование может работать по свободному

графику и в любое время. Существующая система централизованного обеспечения тепловой энергией при повышении цен меняет технико-экономическое обоснование практически всех проектов. Основным потребителем отопительных котлов на местных видах топлива более простых, но обеспеченных необходимым минимумом безопасной автоматики могут являться промышленные предприятия, ремонтные мастерские, базы и т.д.

В последнее время повышенный интерес уделяется отопительным котлам (установкам) на древесном топливе. В стране лесов и развитого деревообрабатывающего производства оно на протяжении тысячелетий было одним из основных источников тепловой энергии. Общепризнано, что индивидуальные источники тепла позволяют более рационально расходовать ресурсы, в то же время специалисты утверждают, что в каждом конкретном случае нужно просчитывать необходимость внедрения отопления с учетом всех «за» и «против».

Один литр нефти эквивалентен 2,1кг древесины или 2,5кг соломы. В свою очередь 1м<sup>3</sup> древесины, равен 0,087 тоны условного топлива.

В последние годы в Глубокских электрических сетях большое внимание уделяется переводу на древесное топливо котельных производственных баз районов электрических сетей, оперативно-эксплуатационных пунктов (ОЭП). К примеру, в 2005году были переведены с электроотопления на местные виды топлива (дрова, твердое топливо) котельные базы Докшицкого РЭС, Бегомельского ОЭП. Это позволило в среднем сэкономить 140 тысяч кВт.ч. электроэнергии на отопление, или около сорока тонн условного топлива.

Для того чтобы более реально снизить энергоемкость, нужны новые технологии и оборудование. Было принято решение о замене электроотопления базы Глубокского РЭС на котел работающий, на щепе. Где использовались бы порубочные отходы с просек воздушных линий (ВЛ) и отходы цеха деревообработки.

Глубокские электрические сети на данный момент имеют 2,5 тысячи гектаров просек под ВЛ-0,4-750 кВ и цех деревообработки. Для утилизации прорубочных отходов используется навесная дробилка типа СН-260 на базе трактора МТЗ.

При изучении технических данных отопительных котлов, было отдано предпочтение котлу типа КВ-0,5Т, с топкой ТСДО-0,5 с механизированной подачей топлива производства ОАО «ГСКБ» г. Брест.

Определено количество потребленной электроэнергии с переводом в условное топливо:  $B_3 = Q_ч \times T_r \times K_{пер} \times (1 + K_{пот} / 100) \times K_{топл}^3$ , т.у.т.

где  $Q_ч$  – среднечасовая нагрузка котельной, Гкал/час = 0,11 (согласно строительного проекта «Белгипрогаз»);

$T_r$  – число часов работы в год, часов = 4968;

$K_{пер}$  – переводной коэффициент Гкал в МВт ч = 1,16;

$K_{пот}$  – коэффициент, учитывающий потери в электрических сетях 10%;

$K_{топл}^3$  – коэффициент пересчета электроэнергии в условное топливо равный 0,28 кг у.т./кВт ч.

$$B_3 = 0,11 \times 4968 \times 1016 \times 1,1 \times 0,28 = 195,25 \text{ т у.т.}$$

Определено количество сжигаемого местного топлива:

$$B_r = Q_ч \times T_r \times b_{т3}^{МВТ} / (K_{МВТ} \times 10^3), \text{ т}$$

где  $Q_ч$  – среднечасовая нагрузка котельной, Гкал/час = 0,11;

$T_r$  – число часов работы в год, часов = 4968;

$b_{т3}^{МВТ}$  – удельный расход топлива при работе на местном виде топлива для производство тепловой энергии, кг у.т./Гкал:

$$b_{т3}^{МВТ} = 142,76 / (n_{МВТ} \times 10^{-3}),$$

$n_{МВТ}$  – коэффициент полезного действия котла на местных видах топлива, %;

$K_{МВТ}$  – топливный эквивалент местных видов топлива для перевода в натуральное топливо.

$$b_{т3}^{МВТ} = 142,76 / (92 \times 10^{-2}) = 155,1 \text{ кг у.т./Гкал}$$

$$B_r = 0,11 \times 4968 \times 155,1 / 0,36 \times 1000 = 235,4 \text{ т}$$

Определена разность в стоимости сжигаемого топлива:

$$C_{топл} = B_3 \times C_3 - B_{МВТ} \times C_{МВТ}, \text{ тыс.руб.};$$

где  $C_3$  – стоимость 1 т у.т. (тыс. руб.), уточненная на момент составления расчета = 117300;

$C_{МВТ}$  – стоимость тонны МВТ ( $\text{м}^3$  и т.д.), тыс.руб./ тонну ( $\text{м}^3$  и т.д.).

$$C_{топл} = 195,25 \times 117300 - 235,4 \times 0 = 22902,82 \text{ тыс.руб.}$$

Определена разность затрат на оплату труда обслуживающего персонала:

$$З = З_3 - З_{\text{МВТ}},$$

где  $З_3$  – заработная плата персонала, обслуживающего электрокотлы;

$З_{\text{МВТ}}$  – заработная плата персонала, обслуживающего котел на дровах.

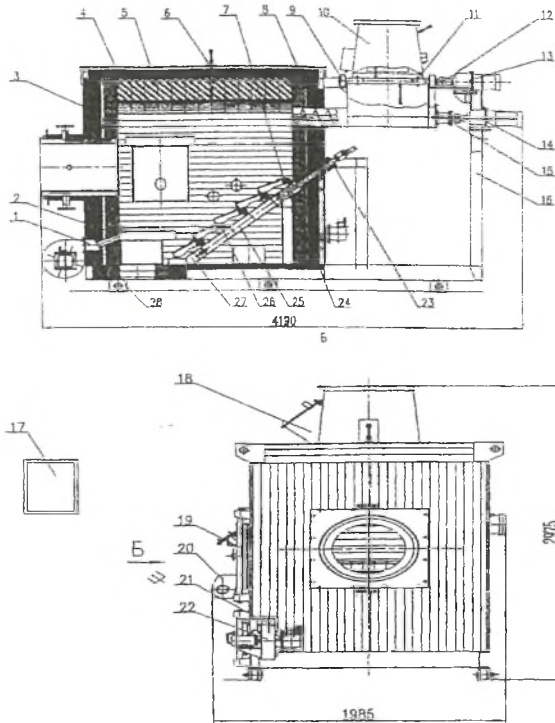


Рис. 1. Отопительный котел.

1 – распределительный воздуховод; 2 – стенка из шамотного кирпича; 3 – маты теплоизоляционные; 4 – крышка верхняя; 5 – свод; 6 – штуцер подачи воды в топку; 7 – колосник; 8 – шнек; 9 – опора подшипниковая; 10 – бункер; 11 – ворошилка; 12 – муфта; 13 – мотор-редуктор ворошилки; 14 – мотор-редуктор шнека; 15 – подшипниковый узел; 16 – каркас; 17 – ящик управления топкой и котлом; 18 – крышка смотрового люка; 19 – дверка смотрового люка; 20 – горелка; 21 – заслонка ручная; 22 – вентилятор; 23 – направляющая; 24 – толкатель; 25 – лежка; 26 – ось; 27 – рама неподвижная; 28 – колесо топки.

$$З = 182000 - 182000 = 0$$

Определение затрат на доставку топлива:

$$З_3 = 235,4 \text{ (тонн)} / 6 \text{ (тонн в машине)} \times 1,5 \text{ (часа)} \times 0,7 \times$$

$$\times 21880 \text{ (руб/м.час)} = 901,35 \text{ тыс.руб.}$$

Определение суммы годовой экономии за счет внедрения отопительного котла на МВТ:

$$C = C_{\text{топл}} + Z - Z_{\text{т}}$$

$$C = 22902,82 + 0 - 901,35 = 22001,5 \text{ тыс.руб.}$$

По предварительным подсчетам перевод электроотопления на местные виды топлива базы Глубокского РЭС позволит сократить расход электрической энергии на отопление за год на 22 тысячи кВт·ч, или около 60 тонн условного топлива.

### **Вывод**

Энергосбережение является одним из приоритетных направлений национальной энергетической политики. В ближайшее время необходимо решить все научные и технические проблемы с тем, чтобы создать эффективные индивидуальные источники тепла за счет использования местных видов топлива и предусмотреть стимулирование за экономию топливно–энергетических ресурсов.

## **ГАЗИФИКАЦИЯ СМЕСЕЙ ТОРФА, ДРЕВЕСНЫХ И ПОЛИМЕРНЫХ ОТХОДОВ**

П.Л. Фалюшин, В.Б. Ловкис, И.А. Гаель, В.Н. Кожурин

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,

Институт проблем использования природных ресурсов и экологии НАН

г. Минск

Одной из важнейших задач, стоящих перед энергетикой республики в настоящее время, является снижение доли импортируемых ресурсов в топливно-энергетическом балансе и соответственно увеличение доли местных видов топлива. Кроме этих видов топлива планируется использовать в малой энергетике горючие отходы растениеводства, а также полимерные органические отходы (изношенные шины, отходы пластмасс и др.) общий ежегодный энергопотенци-

ал которых составляет 1,1-1,5 млн.т.у.т. В течение последних десяти лет для сжигания твердых топлив и горючих отходов, кроме традиционных технологий и оборудования, используют простейшие газогенераторные установки типа Пинча, позволяющие проводить двухстадийное сжигание в тонком неподвижном слое с высоким КПД и хорошими экологическими показателями. При этом температура может достигать 1200 – 1300 °С, что на 100 – 300 °С выше температуры горения на колосниковой решетки. В этом заключается существенное отличие газогенераторного процесса от прямого горения топлива, КПД газификации при этом достигает 90 %. Как известно, хлорсодержащие соединения – диоксины окисляются при температуре свыше 1150 °С.

В ГНУ «Институт проблем использовании природных ресурсов и экологии НАН Беларуси» на базе газогенератора Пинча созданы газогенераторы мощностью от 30 до 1000 кВт для сжигания твердых топлив, разработана технология и оборудование для совместного сжигания торфа (или сопрапеля) и горючих органических отходов. Сущность этого способа заключается в том, что при совместном сжигании, например, торфа и изношенных автопокрышек образующийся диоксид серы связывается золой торфа с образованием сульфата кальция ( $\text{CaO} + \text{SO}_2 + 0,5\text{O}_2 \rightarrow \text{CaSO}_4$ ), что приводит к значительному снижению выбросов летучих соединений серы в атмосферу. Разработаны газогенераторы для сжигания отходов растениеводства и древесного топлива разного гранулометрического состава.

Проведены исследования, направленные на обоснование экологически безопасных технологий сжигания горючих органических отходов, в том числе серосодержащих – гидролизного лигнина и изношенных шин. Для обоснования технологии газификации полимерных отходов использованы данные дериватографического анализа. Показано, что пиролиз частиц изношенных шин без доступа воздуха протекает в две стадии с максимумами при 390 и 460 °С, которые обусловлены термохимическими превращениями органического вещества изношенных шин с образованием летучих соединений. Характерной особенностью

горения бинарной смеси торфа и кусков изношенных шин является совмещение основных стадий процесса – окисления их летучих соединений при 250-280 °С и горение сажи – основного наиболее термоустойчивого компонента отходов, которое протекает в области температур 500-600 °С.

При совместном сжигании с торфом наблюдается полное сгорание кусков изношенных шин, в том числе технического углерода – сажи; каждый процент добавки изношенных шин к торфу повышает теплоту сгорания топлива на 210 кДж/кг. Использование газогенератора предложенной конструкции в виде топочного устройства с модифицированной колосниковой решеткой позволяет повысить эффективность и экологическую безопасность сжигания отработанных резинотехнических изделий. Степень связывания диоксида серы при слоевой газификации изношенных шин совместно с торфом составляет около 60 %, при использовании карбонатного сапропеля достигает 90 %, что позволяет значительно снизить выбросы летучих соединений серы в атмосферу. Проведены испытания по газификации древесных отходов и их смесей с полиэтиленовой пленкой на газогенераторных установках типа Пинча мощностью 70 и 150 кВт.

При горении топлива на колосниковой решетке коэффициент избытка воздуха составляет около 1, а в жаровом канале при сжигании газа он достигал 1,2 – 1,3. Как следует из результатов испытаний, наибольшую теплоту сгорания имеет генераторный газ, полученный из смеси топлив с полимерными отходами, что находит отражение в повышении температуры факела горения газа в жаровом канале на 20–30 % по сравнению с температурой горения без добавок органических горючих отходов.

Анализ золы и дымовых газов показал связывание золой торфа соединений серы, образующихся при совместном сжигании с кусками изношенных шин, и снижение выброса диоксида серы с дымовыми газами в 1,5 – 2,0 раза. При сжигании смеси древесных отходов с полиэтиленовой пленкой содержание оксида углерода в дымовых газах не превышало предельно допустимых концентраций.

При газификации смесей ржаной соломы с кальций содержащими соединениями возможно связывание хлора в нейтральные соединения ( $\text{CaCl}$ ) и снижение выбросов вредных веществ.

В ГНУ «ИПИПРЭ НАН Беларуси» и УО БГАТУ» предложены новые технические решения по усовершенствованию отдельных узлов газогенераторов – камеры газификации, колосниковой решетки и рассекателя топлива с учетом качественных характеристик используемого топлива, что позволило интенсифицировать процесс газообразования и улучшить эксплуатационные показатели газогенераторов. Показана целесообразность сжигания ржаной соломы, спрессованной в рулоны, в газогенераторах мощностью свыше 1000кВт.

### **ГЕЛИОАЭРОБАРИЧЕСКАЯ ТЕПЛОЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ**

Чабанов А.И., РАЕН, г. Симферополь;

Чабанов В.А., ЗАО «Интергелиогалактика», г. Москва;

Соловьев А.А., МГУ, г. Москва;

Сычев М.П., Ю.П. Сидоренко, г. Минск

Группой российских, белорусских и украинских ученых и специалистов, ранее работавших, в большинстве своем, в области создания высоких советских технологий в оборонном комплексе, разработаны новейшие теплоэлектро-энергетические комплексы (гелиоаэробарические теплоэлектростанции – ГАБ ТЭС), которые далеко опережают современные зарубежные достижения по использованию возобновляемых источников энергии.

Они характерны тем, что наряду с прямыми солнечными лучами в них одновременно используются отраженные солнечные лучи, естественный ветер, концентрируемый посредством специально сконструированных ветронаправляющих поверхностей, совмещенных с гелиотеплопреобразованием, другие компоненты солнечной энергии, проявляемые в окружающей среде.

Например, в области преобразования солнечной радиации в электрическую энергию для промышленных и коммунальных нужд зарубежные «солнечные каминьы» характеризуются коэффициентом использования солнечной энергии, величина которого не превышает 1,5% при высоте тяговой трубы в них около 1000 м (см. расчетные показатели строящейся в Австралии гелиоэлектростанции по принципу «солнечного каминьа» мощностью до 200 тыс. кВт). Ветроэлектроагрегаты мощностью 1000-1000 кВт в единице, серийно освоенные в производстве и в строительстве в самых богатых государствах мира, представляют собой исключительно дорогие технологии уже исчерпавшие к настоящему времени возможности существенного снижения осредненной по году стоимости 1-го кВт установленной мощности, и они в этой связи неприемлемы для использования в наших государствах.

В отличие от зарубежных научно-технических решений в ГАБТЭС траектория движения центрального энергетического воздухопотока, вращающего ветротурбогенератор, принципиально изменена относительно традиционных решений: вместо вертикального ламинарного движения ему придана вращательно-поступательная вихревая форма. В качестве основного теплоносителя, формирующего центральный энергетический воздухопоток наряду с вращающимся ветром, применен воздух, который нагревается за счет различных компонентов солнечной энергии. Горячий воздушный теплоноситель посредством специальных азотермодинамических модулей приобретает вращательное движение и через проемы выпускается в среду центрального энергетического воздухопотока, смешивается с ним, проходит через ветротурбину и создает азотбарические процессы в тяговой трубе. Тангенциальная составляющая суммарного воздухопотока в значительной мере превышает по скорости вертикальную осевую компоненту, за счет чего потери тепловой энергии в окружающую атмосферу снижаются и КПД такой энергопреобразующей системы существенно повышается. Лопастей ветротурбины сконструированы таким образом, чтобы последняя более эффективно воспринимала и перерабатывала в крутящий мо-

мент именно тангенциальную компоненту скорости центрального энергетического воздушного потока. В этой связи коэффициент использования энергии термопреобразования солнечной радиации превышает 20% (вместо достигнутого за рубежом 1,5% и при этом в нашем варианте многократно более низкой и облегченной управляемой тяговой трубой). Имеются научно-технические решения значительного повышения КПД до 40 и более процентов. В качестве основного варианта теплоаккумулирующего материала применяется вода, хотя может применяться и сыпучий материал, например, суглинок или крупный щебень. Теплоносителем в теплоаккумуляторе ГАБТЭС применяются вода или воздух в зависимости от ее мощности и других особенностей. Гелиотеплопреобразователи в ГАБТЭС выполняются в горизонтальной и вертикальной формах. Горизонтальные гелиопреобразователи занимают большую площадь, рассчитанную на генерацию соответствующей тепловой мощности, и подняты над поверхностью земли с целью выращивания под ними овощей, ягод, спироурины и других продуктов. Тем самым в большой степени экономится грунтовая поверхность в хозяйственно-экономических целях.

И теплоаккумулятор, и гелиопреобразователи снабжены специально выполненными воздушными полостями, которые утилизируют тепловые потери, направляя их в технологический центр ГАБТЭС. Теплицы, совмещенные с последней, имеют пониженную удельную стоимость, поскольку они являются встроенными в приспособленные для этого средства, целевая функция которых предназначена для энергопреобразования. Кроме того, такой подход к созданию ГАБТЭС делает целесообразным размещение на ее периферии птицеферм, животноводческих ферм, технологий для горячей переработки или производства общественно необходимых продуктов. Тепловыделения, сопутствующие таким экзотермическим технологиям, направляются для участия в формировании центрального энергетического воздушного потока, вместо их традиционного выбрасывания в атмосферу.

Ориентировочно, мощности ГАБТЭС составят следующий ряд: 1000, 3000, 5000 и даже 20 000 кВт. Проектом предусматривается равномерная выработка товарной электрической и тепловой энергии в течение года, независимо от погодных или сезонных условий. Эксплуатация ГАБТЭС не приведет к тепловому или газовому загрязнению атмосферы. ГАБТЭС создается в технологическом единстве с агропромышленным производством и средствами экологического возрождения окружающей среды, в этом аспекте потенциальные возможности технологических комплексов ГАБТЭС уникальны.

Все ноу-хау, принципы и конструкции ГАБТЭС защищены соответствующими патентами в России, Украине, республике Беларусь (всего 30 патентов), а также международными заявками с соответствующей датой приоритета (ЕАПО 2004120/27-126/27 и PCT/DY 204000012-15).

Авторами проекта в 2004 г. предложено строительство опытно-экспериментальной ГАБ ТЭС мощностью 20 кВт применительно к климатическим условиям Беларуси. Проект был поддержан Мингорисполкомом. Разработана техническая документация, изготовлен ветротурбогенератор, определена площадка для строительства в промышленной зоне Колядичи. Однако из-за отсутствия финансовых средств работа остановлена.

В настоящее время построен технологический центр научно-промышленной ГАБТЭС мощностью 50 кВт в г. Новосибирске. Продолжается строительство всего комплекса и производится доработка технологического центра с целью оптимизации реализованных конструкций. Пробные запуски данной ГАБТЭС подтвердили правильность принятых научных концепций.

Кроме того, у озера Эльтон Волгоградской области ведется строительство промышленно-экспериментальной ГАБТЭС мощностью 500 кВт. Данная станция позволит в полной мере подтвердить преимущества ГАБТЭС относительно других вариантов нетрадиционной энергетики и провести финишные корректировки их документации, которые позволят приступить к строительству гелио-

электростанций мощностью 3 и 5 тыс. кВт, а также к разработкам станций на мощности 20-50 тыс. кВт.

ЗАО «МГК «Интергелиогактика» (Москва) и СибЭкоЭнерго» (г. Новосибирск) планируют в ближайший период приступить к разработке серии ГАБТЭС мощностью 3 тыс. кВт для строительства в южных регионах России и за рубежом. Аналогичное предложение представлено и в Беларусь со сроком ввода станции в действие в течение 3-х лет, причем оплата этих работ предусматривается за счет самостоятельно привлеченных кредитов с возвратом заемных средств по результатам эксплуатации станции в течение 4-х лет после ее пуска.

## **ВОЗМОЖНОСТИ РАПСА КАК АЛЬТЕРНАТИВЫ ДИЗЕЛЬНОМУ ТОПЛИВУ**

Чернышей С.С.,

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск

Последние 25-30 лет заметно усилилось внимание к поиску и освоению нетрадиционных возобновляемых источников энергии (НВИЭ). Это связано с постоянным ростом цен на импортируемое топливо нефтяного происхождения. Нетрадиционные источники энергии отличаются от ископаемых органических ресурсов своими огромными запасами, т.е. они практически неисчерпаемы или периодически возобновляются.

К числу нетрадиционных источников энергии относят энергию солнца, ветра, рек, ежегодно возобновляемую органическую массу (биомассу) и т.д.

Одним из приоритетных направлений в использовании НВИЭ является использование энергии биомассы.

Основа биомассы – органическое соединение углерода, которое в процессе соединения с кислородом при сгорании или в результате естественного метаболизма выделяет тепло.

Использование биомассы и биотоплива в качестве аккумуляторов энергии имеет фундаментальное значение. Цель всех процессов, связанных с биомассой, - обеспечить производство различных видов топлива, подходящих для самого разнообразного применения, включая жидкое топливо для транспорта. Чистая удельная энергия, которую можно получить при сжигании, варьируется от 10 МДж/кг (сырая древесина) до 40 МДж/кг (жиры, нефтеподобные вещества) и 55 МДж/кг для метана [1].

Теплота сгорания сухой биомассы, являющейся по преимуществу углеводами, составляет около 20 МДж/кг.

Возможность применения растительного масла в качестве топлива доказана. Сырьем для растительного масла являются – подсолнечник, рапс, соевые бобы, цитрусовые, земляные орехи, листья эвкалипта и другие растения.

Наиболее перспективным для Беларуси сырьем для производства биодизеля является рапс. Рапс это культура универсального типа использования. В семенах рапса содержится 40-44 % масла, 18-22 % белка, 6-7 % клетчатки и 20-24 % безазотистых экстрактивных веществ. Рапс выращивается, как правило, на выведенных из севооборота земельных угодьях. Посевы рапса повышают биологическую активность, улучшают структуру почвы. Рапс выполняет функции очистителя от азота, что способствует снижению нитратной нагрузки на грунтовые воды.

Продукт биодизель, пригодный для применения в качестве топлива дизельных двигателей получают химическим способом, который называют «переэтерификацией». В рапсовое масло добавляют метиловый спирт до 10% по объему рапсового масла. С помощью катализатора, например, едкий калий удаляются побочные продукты, в том числе глицерин. Последний импортируется Беларусью и обходится недешево, так как необходим фармацевтической и парфюмерной промышленности.

Переэтерификация проходит при низких температурах 60..70°C. В итоге получается продукт пригодный для использования в качестве топлива на дизельном двигателе.

При возделывании технического рапса не требуются значительные расходы на удобрения, средства защиты. Из рапса получают от 1000 до 1200 литров рапсового масла с одного га, из чего следует, что полная замена дизельного топлива биодизелем невозможна. Однако топливо из рапса может явиться значимым вкладом в экономию ресурсов природных ископаемых.

Физико-химические показатели биодизеля в сравнении с минеральным летним дизельным топливом приведены в табл.1 [2].

Таблица 1. - Физико-химические показатели биодизеля и минерального летнего дизельного топлива

Показатели	Дизельное топливо	Биодизель
Цетановое число	45	Не ниже 47
Кинематическая вязкость при 20°C, мм <sup>2</sup> /с	3,8	7,5
Плотность при 20°C, кг/м.куб	830	Не более 890
Температура застывания, °С	-10	-9
Температура помутнения, °С	-6	-3
Температура вспышки в закрытом тигле, °С	80	Не ниже 135
Теплотворная способность, кДж/кг	43000	37000
Содержание глицерина, %	Отсутствует	Не более 0,3

Как видно, биотопливо является неплохой альтернативой дизельному топливу. Обладая примерно одинаковым с минеральным дизельным топливом энергетическим потенциалом, биодизель имеет ряд существенных преимуществ:

- он не токсичен, практически не содержит серы и канцерогенного бензола;
- разлагается в естественных условиях (примерно так же, как сахар);
- обеспечивает значительное снижение вредных выбросов в атмосферу при сжигании, как в двигателях внутреннего сгорания, так и в технологических агрегатах;

- увеличивает цетановое число топлива и его смазывающую способность, что существенно увеличивает ресурс двигателя;
- имеет высокую температуру воспламенения (более 100 °С), что делает его использование относительно безопасным;

#### Литература

1. Ермашкевич В.Н. Возобновляемые источники энергии Беларуси: прогноз, механизмы реализации. – Мн.: НО ООО “БИП-С”, 2004. – 121с.
2. <http://www.energy-saving-technology.com>

### Секция 3 «Электротехнология и электрооборудование АПК»

#### СПОСОБЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Бабаева Е.В.,

УО “Белорусский государственный аграрный технический университет”, г. Минск

Коэффициент потерь мощности электродвигателя показывает, сколько раз постоянные потери мощности  $P_{\text{пост}}$  больше переменных потерь мощности  $P_{\text{пер}}$ . Следовательно

$$a = \frac{\Delta P_{\text{пост}}}{\Delta P_{\text{пер}}}, \quad (1)$$

Переменные потери изменяются при изменении нагрузки на валу электродвигателя, поэтому коэффициент  $a$  — величина переменная. В номинальном режиме нагрузке он равен

$$a_n = \frac{\Delta P_{\text{пост}}}{\Delta P_{\text{пер,н}}}, \quad (2)$$

где  $P_{\text{пер,н}}$  - переменные потери при номинальной нагрузке на валу, Вт.

В справочной литературе не приводятся значения номинального коэффициента потерь для каждого электродвигателя. В [1] указывается, что для асинхронных электродвигателей  $a_n = 0,5 \dots 0,7$ . В [2] отмечается, что для асинхронных электродвигателей нормального типа  $a_n = 0,5 \dots 1$ , для быстроходных и

крановых электродвигателей  $\alpha_n = 1$  и более. В [3] указывается, что  $\alpha$  изменяется от 0,5 до 2, не уточняя типа электродвигателя. Такое положение не устраивает проектировщиков, поскольку  $\alpha_n$  используется в формулах выбора электродвигателя по мощности в режимах работы S2 и S3, в формуле коэффициента полезного действия в функции коэффициента нагрузки на валу, при определении потерь в электродвигателе при частных нагрузках и в других задачах электропривода [4].

В докладе рассмотрены известные в литературе расчетные способы определения коэффициента  $\alpha_n$  и предложенные новые способы расчета.

В [3] указывается, что переменные номинальные потери электродвигателя можно определить расчетом по формуле:

$$\Delta P_{пер,n} = M_n \cdot \omega_0 \cdot S_n \cdot \left( \frac{r_1}{r_2} + 1 \right), \quad (3)$$

где  $M_n$  – номинальный момент электродвигателя, Н·м;

$\omega_0$  – синхронная угловая скорость электромагнитного поля, рад/с;

$S_n$  – номинальное скольжение ротора, о.е.;

$r_1, r_2$  – активное сопротивление обмотки статора и приведенное к обмотке статора активное сопротивление обмотки ротора, Ом. В формуле можно использовать  $r_1$  и  $r_2$ , в относительных единицах.

Зная величину  $P_{пер,n}$  коэффициент  $\alpha_n$  можно найти по формуле:

$$\alpha_n = \frac{P_n \cdot \left( \frac{1 - \eta_n}{\eta_n} \right) - \Delta P_{пер,n}}{\Delta P_{пер,n}} \quad (4)$$

где  $P_n$  – номинальная мощность электродвигателя, Вт;

$\eta$  – КПД при номинальной мощности на валу, о.е.

Уравнение (3) определяет заниженные переменные потери, потому что в [3] не корректно указано, что

$$\Delta P_{пер} = 3 \cdot (I_2')^2 \cdot (r_1 + r_2) = 3 \cdot (I_2')^2 \cdot r_2' \cdot \left( \frac{r_1}{r_2} + 1 \right), \quad (5)$$

В действительности

$$\Delta P_{\text{пер}} = 3 \cdot I_1^2 \cdot r_1 + 3 \cdot (I_2')^2 \cdot r_2', \quad (6)$$

По сути дела, в [3] упрощённо приняты 2 неточности: 1)  $I_1 = I_2'$ ;

2) номинальный момент равен электромагнитному, т.е.  $M_n = M_{\text{эм}}$ . По этим причинам вычисляются по уравнению (3) заниженные значения переменных потерь.

Мы предлагаем уравнение (6) раскрыть для номинального режима в следующем виде

$$\Delta P_{\text{пер,н}} = 3 \cdot I_{1\text{н}}^2 \cdot r_1 + M_n \cdot \omega_0 \cdot S_n, \quad (7)$$

В этом уравнении сохраняется одна неточность в определении потерь в роторе, при замене  $M_{\text{эм}}$  на  $M_n$ :

$$3 \cdot (I_2')^2 \cdot r_2 = M_{\text{эм}} \cdot \omega_0 \cdot S_n \approx M_n \cdot \omega_0 \cdot S_n, \quad (8)$$

На самом деле  $M_{\text{эм}} = M_n + M_0$ , где  $M_0$  - момент холостого хода электродвигателя, который расходуется на преодоление сил трения вращающегося ротора, Н·м. Следовательно, уравнение (7) составлено с допущением, что  $M_0 = 0$ . В действительности  $M_0$  составляет не более 5% момента номинального [5], что допустимо для технических расчётов.

Для нахождения потерь по уравнению (8) используются справочные данные:  $r_1$ ;  $I_{1\text{н}}$ ;  $\omega_0$ ;  $S_n$ . Номинальный момент и номинальная скорость равны

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n}, \quad (9)$$

$$\omega_n = \omega_0 \cdot (1 - S_n), \quad (10)$$

*Расчёты по (3) и (4) будем считать способом №1, а расчёты по (7) и (4) — способом №2.* Особенность этих расчётов в том, что  $\alpha_n$  определяется по одному, номинальному, режиму.

В [6] приведён способ расчёта коэффициента  $\alpha_n$  и дан пример расчёта. Суть способа состоит в нахождении потерь холостого хода  $\Delta P_0$ , которые в [6]

считаются постоянными потерями, затем номинальных потерь  $\Delta P_H$  и потерь при частной нагрузке  $x \cdot P_n$ , а также переменных номинальных потерь  $P_{пер.л.}$ :

$$\Delta P_0 = \frac{\Delta P - x^2 \cdot \Delta P_n}{1 - x^2}, \quad (11)$$

где  $x$  – коэффициент нагрузки, о.е.;  $x = P_2/P_n$ , где  $P_2$  – нагрузка на валу, кВт.

$$\Delta P = x \cdot P_n \cdot \left( \frac{1 - \eta_x}{\eta_x} \right), \quad (12)$$

где  $\eta_x$  – КПД при коэффициенте нагрузки электродвигателя  $x$ , Вт.

Обычно применяют  $x = 0,5$ , тогда и КПД находят при нагрузке 0,5, используя справочные данные, приведённые в [6] и [8].

$$\Delta P_n = P_n \cdot \left( \frac{1 - \eta_n}{\eta_n} \right), \quad (13)$$

$$\Delta P_{пер.л.} = \Delta P_n - \Delta P_0, \quad (14)$$

После расчёта потерь по формулам (11) ... (14) коэффициент потерь мощности  $a_n$  определяется по уравнению (2).

Недостаток этого способа состоит в том, что  $P_0$  находится по упрощённому способу (по двум точкам), и что  $P_0$  больше постоянных потерь  $P_{пост}$  в электродвигателе на величину потерь  $3 \cdot I_0^2 \cdot r_1$  в обмотках статора от тока холостого хода  $I_0$ . В действительности

$$\Delta P_0 = 3 \cdot I_0^2 \cdot r_1 + \Delta P_{ст} + \Delta P_{мех} = 3 \cdot I_0^2 \cdot r_1 + \Delta P_{пост}, \quad (15)$$

где  $P_{ст}$ ,  $P_{мех}$  – потери в стали и потери механические в электродвигателе, Вт.

В связи с указанными особенностями определяются завышенные постоянные потери.

*Определение  $a_n$  по формуле (2) с учётом формул (11), (14) будем считать способом №3.* Автором предлагаются другие способы, указанные в таблице 1.

Таблица 1

Характерные особенности способов определения номинального коэффициента потерь мощностей

Особенности	Способы определения $\alpha_n$					
	Известные		Предлагаемые авторами			
	№1	№3	№2	№3'	№4	№5
Какие потери мощности определяются в расчетной формуле	$\Delta P_{\text{пер.н}}$	$\Delta P_0$	$\Delta P_{\text{пер.н}}$	$\Delta P_{\text{пост}}$	$\Delta P_{\text{пост}}$	—
По скольким расчетным точкам (мощностям) определяется $\alpha_n$	По одной: $P_n$	По двум: $P_n$ ; $0,5P_n$	По одной: $P_n$	По четырем: $0,25P_n$ ; $0,5P_n$ ; $0,75P_n$ ; $P_n$	По четырем: $0,25P_n$ ; $0,5P_n$ ; $0,75P_n$ ; $P_n$	По пяти: $0,25P_n$ ; $0,5P_n$ ; $0,75P_n$ ; $P_n$ ; $1,25P_n$
Определение каких параметров электродвигателя вызывает наибольшие трудности	$\gamma_1/\gamma_2$	$\eta_{0,5}$	$\gamma_1$	$I_0, \gamma_1$ ; $\eta_{0,25}$ ; $\eta_{0,5}$ ; $\eta_{0,75}$ ; $\cos\varphi_x$	$\eta_{0,25}$ ; $\eta_{0,5}$ ; $\eta_{0,75}$	$\eta_{0,25}$ ; $\eta_{0,5}$ ; $\eta_{0,75}$ ; $\eta_{1,25}$
В связи с особенностями расчета и принятыми упрощениями ожидается значение $\alpha_n$	Завышенные	Завышенные	Завышенные незначительно	$\alpha_n$ в норме, в зависимости от точности аппроксимации	$\alpha_n$ в норме, в зависимости от точности аппроксимации	$\alpha_n$ в норме, в зависимости от точности аппроксимации
<i>Примечание.</i> Способы №3, №3', №4, №5 применимы в том случае, если известны КПД электродвигателя при частных нагрузках, а для способа №3' – так же $\cos\varphi$ при частных нагрузках. Эти данные, к сожалению, приводятся только в справочниках [6] и [8], и только для асинхронных электродвигателей серии 4А основного исполнения и с повышенным пусковым моментом.						

## ЛИТЕРАТУРА

1. Басов А.М. Основы электропривода и автоматическое управление электроприводом в сельском хозяйстве [Текст]/ А.М. Басов, А.Т. Шаповалов, С.А. Кожевников.– Москва: Колос, 1972.–344с.
2. Гейлер Л.Б. Электропривод в тяжелом машиностроении [Текст]/ Л.Б. Гейлер.– Москва: Машгиз, 1958.–587с.

3. Голован А.Т. Основы электропривода [Текст]/ А.Т. Голован.– Москва: Госэнергоиздат, 1959.–342с.
4. Чиликин М.Г. Общий курс электропривода [Текст]: учебник для ВУЗов/ М.Г. Чиликин, А.С. Сандлер.– Москва: Энергоиздат, 1981.–576с.
5. Пиотровский Л.М. Электрические машины [Текст]: учебник/ Л.М. Пиотровский.–4-е изд.– Москва-Ленинград: Госэнергоиздат, 1960.–532с.
6. Кузнецов Б.В. Асинхронные электродвигатели и аппараты управления [Текст]: справочное пособие/ Б.В. Кузнецов, М.Ф. Сацукевич.– Минск: Беларусь, 1974.–567с.
7. Основы автоматизированного электропривода [Текст]: учебное пособие для ВУЗов/ М.Г. Чиликин [и др.].–567с.
8. Асинхронные электродвигатели серии 4А [Текст]: справочник/ А.Э. Кравчик [и др.].– Москва: Энергоатомиздат, 1982.–504с.

## **МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ КАТАЛИЗАТОРОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА**

Бовкунович И.А., Гаркуша К.Э.,

УО “Белорусский государственный аграрный технический университет”, г. Минск

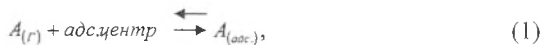
В процессе исследований в области фотокаталитической очистки воздуха возникает необходимость определения эффективности катализатора. Применяемая для этих целей методика расчета с инженерной точки зрения достаточно сложна, поэтому актуальной является задача разработки модели процесса и приведения методики к упрощенному виду. Моделирование кинетики гетерогенных каталитических реакций необходимо как для выяснения детального механизма реакции, так и для понимания принципа работы реального катализатора.

Фотокаталитические процессы, как правило, протекают по механизму Лэнгмюра-Хиншельвуда. Поэтому примем следующие допущения:

- поверхность адсорбента однородна, все центры энергетически эквивалентны;
- в результате адсорбции образуется мономолекулярный слой;
- отсутствует взаимодействие между соседними адсорбированными частицами.

Основная идея: равновесие адсорбция  $\rightleftharpoons$  десорбция в монослое.

Тогда равновесие между газом и поверхностью:



Скорость адсорбции равна скорости десорбции:

$$k_{\text{адс}} p \Theta_0 = k_{\text{дес}} \Theta_1, \quad (2)$$

$$k_{\text{адс}} p (1 - \Theta_1) = k_{\text{дес}} \Theta_1; \quad (3)$$

Тогда: 
$$\Theta_1 = \frac{K_L p}{1 + K_L p}, \quad (4)$$

где  $k_{\text{адс}}, k_{\text{дес}}$  - константы скорости адсорбции и десорбции;

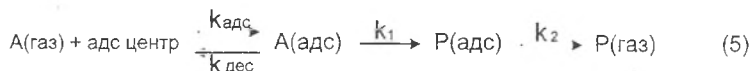
$K_L = \frac{k_{\text{адс}}}{k_{\text{дес}}}$  - константа адсорбционного равновесия между газом и поверхностью;

$\Theta_0$  - доля свободных адсорбционных центров на поверхности;

$\Theta_1$  - доля занятых адсорбционных центров.

Формула (4) является уравнением Ленгмюра [1].

Схема гетерогенного фотокатализа имеет вид:



что говорит о многокомпонентной адсорбции, и соответственно уравнение (4) примет вид:

$$\Theta_1 = \frac{K_{L,A} P_A}{1 + K_{L,A} P_A + K_{L,P} P_P}, \quad (6)$$

так как лимитирующей стадией является диффузия ( $k_1$ ).

Определив  $\Theta_1$  из уравнения (6), можно судить о степени загрузки фотокатализатора. Но основной характеристикой, показывающей эффективность катализатора, является скорость фотокаталитического разложения вред-

ных веществ. Её определим по упрощённой модели Лэнгмюра-Хиншельвуда [2] исходя из уравнения (5):

$$\frac{dc}{dt} = k_1 c(A(adc)), \quad (7)$$

где  $k_1$  - коэффициент скорости;

$c(A(adc))$  - концентрация адсорбированного загрязняющего вещества, М.

$$c(A(adc)) = \frac{k_{adc}}{k_{dec}} A(газ), \quad (8)$$

где  $c(A(газ))$  - начальная концентрация загрязняющего вещества, М.

Тогда уравнение (7) примет вид:

$$\frac{dc}{dt} = k_1 \frac{k_{adc}}{k_{dec}} A(газ) = k_1 K c. \quad (9)$$

Кинетику разложения загрязняющего вещества можно описать, проинтегрировав уравнение (9) в границах  $t_0=0$  до  $t$  и  $c=c_0$  до  $c$ :

$$\ln\left(\frac{c_0}{c}\right) + K(c_0 - c) = k_1 K t, \quad (10)$$

Для маленьких концентраций ( $c < 10^{-3}$  М) разница ( $c_0 - c$ ) приравнивается к 0 и тогда:

$$\ln\left(\frac{c_0}{c}\right) = k_1 K t = k_{rel} t. \quad (11)$$

Уравнение (11) описывает закон псевдо-первого порядка с одним коэффициентом скорости псевдо-первого порядка  $k_{rel}$ . При более высокой концентрации вредного вещества ( $c > 10^{-3}$  М) скорость реакции максимальна и, в общем, наблюдается кинетика нулевого порядка.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ерёмин Н.В., Лунин А. А. Основы физической химии.— М.: Экзамен, 2005.— § 23.

2. Lackhoff M. Photokatalytische Aktivität ambienter Partikelsysteme. Die Dissertation des Doktors der Naturwissenschaften. Technische Universität München, 2002.— с. 98.

## **ЭЛЕКТРОННО-ИОННЫЙ СПОСОБ ВНЕСЕНИЯ ЖИДКИХ КОНСЕРВАНТОВ В ТЕХНОЛОГИИ ЗАГОТОВКИ ПЛЮЩЕННОГО ЗЕРНА**

Воробьёв Д.В.,

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия», г. Горки

В настоящее время все большее распространение получает технология консервирования плющеного зерна ранних стадий спелости. Это сравнительно новый, более перспективный способ заготовки фуража.

Обеспечение нормативных сроков хранения плющеного зерна напрямую зависит от качества внесения консерванта. Внесение жидких реагентов является задачей комплексной. Решение её зависит от множества факторов: способа внесения, степени взаимодействия реагента с обрабатываемым материалом, равномерным его объёмным распределением и другими. В данном докладе приведены результаты лабораторных исследований процесса обработки плющеного зерна ионизированным потоком жидкого реагента в электрическом поле коронного разряда.

В ряде работ [1,2] доказаны преимущества контактных свойств электрозаряженных аэрозолей по степени покрытия и проникновения в обрабатываемый материал.

Механизм действия электронно-ионного способа основан, в частности, на том, что зряженные капли обладают большим смачивающим эффектом. Это объясняется тем, что при наличии на капле жидкости электростатического заряда  $q$  на ее поверхности создается электрическое поле. В объёме капли начинает действовать, так называемое электростатическое давление  $P_q$ , которое

уменьшает давление от сил поверхностного натяжения внутри капли [3]. Оно может быть представлено следующим выражением

$$P_q = \frac{\epsilon_0 q^2}{2(4\pi\epsilon_0)^2 \rho^4} \left(1 - \frac{1}{\epsilon}\right)$$

где  $q$  - электрический заряд;  $\epsilon_0$  - диэлектрическая проницаемость среды;  $\rho$  - радиус кривизны поверхности капли

Таким образом, наличие заряда  $q$  уменьшает давление внутри капли на величину.

$$\Delta P = \frac{2\alpha}{\rho}$$

где  $\Delta P$  - избыточное давление внутри капли;  $\alpha$  - коэффициент поверхностного натяжения.

При контакте капли с поверхностью обрабатываемого материала силы поверхностного натяжения уменьшены и капля способна покрыть большую площадь. Растворённые в заряженной капле минеральные вещества образуют большую поверхностную концентрацию на частицах обрабатываемого материала.

Для исследования эффекта осаждения ионизированных капель жидкого реагента на обрабатываемый материал в электрическом поле была разработана и сконструирована лабораторная установка работающая по схеме представленной на рисунке 1.

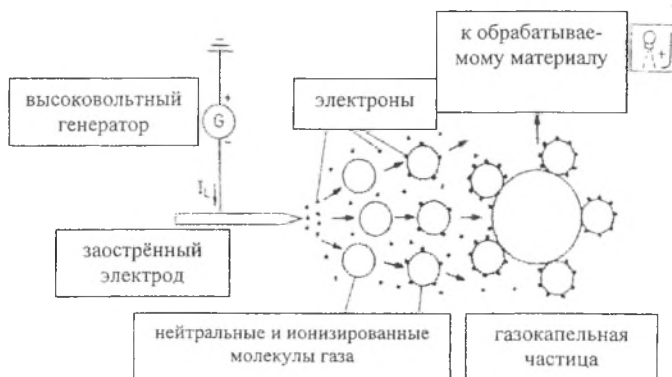


Рисунок 1 – Схема процесса зарядки капель

Для доказательства наличия эффекта более интенсивного осаждения аэрозоли на плющенное зерно в электрическом поле коронного разряда и потоке эмиссионных электронов, была использована методика определения объёмной концентрации радиоактивных атомов МВИ МН 1181-99. В качестве вещества индикатора выступал хлористый калий KCL.

Проведена лабораторная проверка эффекта осаждения заряженных капель реагента содержащего KCL в поле коронного разряда. Эксперименты показали, что процесс осаждения интенсивнее протекает с включённым полем разряда чем без него. Отклонение значений поверхностной концентрации калия в экспериментальной группе образцов превышало концентрацию калия в контрольной. Наименьшая существенная разность сравнительного дисперсионного анализа при уровне значимости 0,05 не превышала значения отклонения от контроля, что доказывает наличие эффекта наилучшего осаждения жидкого реагента на обрабатываемый материал в поле коронного разряда.

#### ЛИТЕРАТУРА

1.Потенье, М. Применение сил электрического поля в промышленности и сельском хозяйстве / М. Потенье // Закон зарядки проводящих частиц в поле биполярной короны: сб. науч. ст. / ВНИИЭМ. – М., 1964. – С. 27-42

2.Moser,E und K.Schmidt: Elektrostatische Tropfenaufladung zur Verbesserung der Wirkstoffanlagerung und Reduzierung der Umweltbelastung im chemischen Pflanzenschutz. VDI/MEG Kolloquium, Heft 4, Mikroelektronik in der Agrartechnik für den Umweltschutz. Tagung 7/8 Mai 1987, S. 139 - 160

3.Палей, А.А. Исследования процессов конденсации паров на электрически заряженных аэрозольных частицах / А.А. Палей, В.Б. Лапшин, Н.В. Жохова, В.В. Москаленко // Электронный научный журнал «Исследовано в России» [Электронный ресурс]. – 2007. – С.263 – 274. – Режим доступа: <http://zhurnal.apc/referat.ru/articles/2007/027.pdf>. - Дата доступа: 13.08.2007

## ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ЦЕЛЕВОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ДЛЯ СУШКИ ЗЕРНОВЫХ

Гаркуша К.Э., Коротинский В.А.,

УО “Белорусский государственный аграрный технический университет”, г. Минск

В производствах, связанных с сушкой зерновых культур, осуществляемых на зерносушилках, расход энергоресурсов значительно зависит от начальной влажности просушиваемого зерна, его вида и назначения. Масса зерна и производительность сушилок выражается в естественном (физическом) исчислении – тоннах и в условном исчислении – плановых тоннах. Нормирование расхода топливно-энергетических ресурсов осуществляется на плановую тонну зернового сырья.

Изменение обобщенных энергозатрат  $\Delta OЭЗ^6$  при изменении влажности просушиваемого зерна определяется по формуле:

$$\Delta OЭЗ^6_{пр} = \Delta OЭЗ^6_{пр} \cdot \frac{(J_{пп} - 100)}{100} \text{ т у.т.,}$$

где  $\Delta OЭЗ^6_{пр}$  - расход ТЭР на сушку зерновых в базисном периоде, т у.т.

$J_{пп}$  - темпы изменения объема сушки зерновых в плановом исчислении от

отчетного периода по сравнению с базисным, %:  $J_{пп} = M_{пл}^0 / M_{пл}^6 \cdot 100\%$ ,

где  $M_{пл}^0, M_{пл}^6$  – масса просушенного зернового сырья в плановом исчислении за отчетный и базисный период соответственно, т.

Масса просушенного зернового сырья в плановом исчислении  $M_{пл}$  для всех типов зерносушильных агрегатов в соответствии с “Инструкцией по сушке продовольственного, кормового зерна, маслосемян и эксплуатации зерносушилок № 9-3-82”:  $M_{пл} = M_{\phi} \cdot K_n \cdot K_x$  пл. т, где  $M_{\phi}$  - масса сырого зерна, поступившего в сушилку, в физическом исчислении, т;

$K_n, K_x$  - коэффициенты пересчета массы просушиваемого зерна в плановые единицы, соответственно, в зависимости от влажности зерна до и после сушки, культуры и назначения зерна.

Расход ТЭР на сушку зерновых культур, определяется по формуле:

$$ОЭЗ = M_{пл} \cdot (B_y^\phi + \mathcal{E}_\phi \cdot 0,28) \cdot 10^{-6}, \text{ тыс. т у.т.}$$

где  $B_y^\phi$  - фактический удельный расход условного топлива на плановую тонну зернового сырья, кг у.т./пл. т;

$\mathcal{E}_\phi$  - фактический удельный расход электроэнергии на плановую тонну зернового сырья, кВт·ч/пл. т; 0,28 – коэффициент пересчета электроэнергии в условное топливо, кг у.т./кВт·ч.

Удельный расход условного топлива на плановую единицу:

$$B_y^\phi = K_n \cdot B_n / M_{пл},$$

где  $K_n$  – коэффициент пересчета натурального топлива в условное; для дизтоплива, солярового масла и тракторного керосина принимать  $K_n = 1,45$ ;

$B_n$  – масса натурального топлива, израсходованного на сушку, кг (расход натурального топлива при сушке зерна учитывать по показаниям счетчика, а при отсутствии счетчика жидкого топлива – по показаниям мерной линейки).

Удельный расход электроэнергии на плановую единицу:  $\mathcal{E}_\phi = \mathcal{E} / M_{пл}$ ,

где  $\mathcal{E}$  – электроэнергия, израсходованная при сушке, кВт·ч.

Пример расчета. По данным формы государственной статистической отчетности №1-тэр, обобщенные энергозатраты по одному из хлебоприемных предприятий, осуществляющих сушку зерна на двух зерносушилках, за отчетный период составляют 32,1 т у.т., а за базисный – 31,7 т у.т. Причем, в базисном году предприятие производило сушку продовольственной пшеницы в количестве 2800 т, а отчетном году сушку 1720 т ржи. Потребление ТЭР на сушку продовольственной пшеницы в базисном году согласно фактическим удельным нормам составило 26,4 т у.т.

Фактический целевой показатель по энергосбережению без учета сопоставимых условий равен:  $ЦП = (32,1/31,7 - 1) \cdot 100\% = +1,3\%$ .

Основным фактором превышения фактического целевого показателя по энергосбережению является то, что средняя влажность просушенной ржи в отчетном году была выше: 24 % против 18 % при сушке продовольственной пшеницы в предыдущем базисном году.

Масса просушенной продовольственной пшеницы в плановом исчислении  $M_{пл}^6$  базисного года:  $M_{пл}^6 = M_{ф}^6 \cdot K_{ж}^6 \cdot K_{к}^6 = 2800 \cdot 0,8 \cdot 1 = 2240$  пл. т.

$K_{ж}^6 = 0,8$  – при снижении влажности зерна при сушке от 18 % до 14 %;

$K_{к}^6 = 1$  – для пшеницы продовольственной.

Масса просушенной ржи в плановом исчислении  $M_{пл}^0$  текущего отчетного года:  $M_{пл}^0 = M_{ф}^0 \cdot K_{ж}^0 \cdot K_{к}^0 = 1720 \cdot 1,46 \cdot 0,91 = 2285,2$  пл.т.

где  $K_{ж}^0 = 1,46$  – при снижении влажности зерна при сушке от 24 до 14 %;

$K_{к}^0 = 0,91$  – для ржи.

Темпы изменения объема сушки зерновых культур в плановом исчислении отчетного периода по сравнению с базисным  $J_{мн}$ , %:  $J_{мн} = \frac{M_{пл}^0}{M_{пл}^6} = \frac{2285,2}{2240} = 102,0$  %.

Поправка к обобщенным энергозатратам базисного периода составит:

$$\Delta OЭЗ^6 = 26,4 \cdot (102 - 100)/100 = 0,53 \text{ т у.т.}$$

Обобщенные энергозатраты базисного периода с учетом сопоставимых условий составляют:  $OЭЗ_{ср}^6 = 31,7 + 0,53 = 32,23$  т у.т.

Фактический целевой показатель по энергосбережению с учетом сопоставимых условий равен:  $ЦП_{ср} = 32,1/32,23 \cdot 100 - 102,0 = -2,4\%$ .

## ЛИТЕРАТУРА

1. Примеры по расчету целевых показателей по энергосбережению в сопоставимых условиях: методические указания. – Минск: БГАТУ, 2005.

# МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА СПЛАВОВ $Mn_{1+x}Sb$ ( $0 \leq x \leq 0.5$ ), ПОДВЕРГНУТЫХ ТЕРМОБАРИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

Гончаров В.С., ОИФТТП НАН Б, г. Минск

Дымонт В.П., УО БГАТУ, г. Минск

Поиск и получение новых материалов, пригодных для практического применения, относятся к числу приоритетных направлений развития науки в Республике Беларусь. В связи с этим, актуальной задачей является как синтез новых материалов и изучение их физических свойств, так и исследование свойств известных материалов, подвергнутых влиянию внешних воздействий. К существенным внешним воздействиям относится термобарическая обработка, относительно недавно получившая широкое распространение благодаря развитию техники высоких давлений. Воздействие высокого давления и температуры позволяет синтезировать новые соединения, которые невозможно получить традиционными методами. Термобарическая обработка может существенно изменить кристаллическую структуру и свойства известных материалов, в частности магнитные свойства. Например, в системе Mn – Sb, кроме давно известных соединений MnSb и Mn<sub>2</sub>Sb [1] за последние годы при применении термобарических технологий получены еще два соединения: MnSb<sub>2</sub> [2] и Mn<sub>3</sub>Sb [3, 4]. Тер-

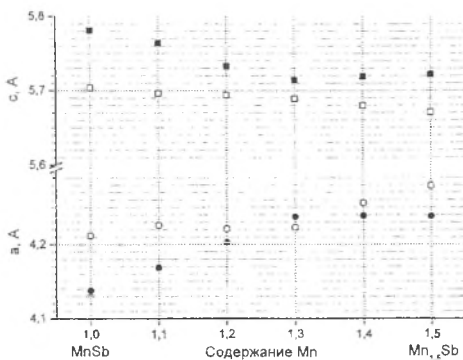


Рисунок 1. Зависимость параметров ячейки *a* и *c* от содержания марганца в сплавах:

мобарическая обработка оказывает существенное влияние и на физические свойства соединений MnSb [5] и Mn<sub>2</sub>Sb [6].

Соединение MnSb представляет особый интерес, так как обладает широкой областью однофазности, что позволяет рассматривать сплавы  $Mn_{1+x}Sb$  (до  $x \leq 0.3$ ) как фазу переменного состава с

изменяющимися в широких пределах физическими свойствами в зависимости от состава и внешних воздействий [7]. Однако практически во всех работах, посвященных исследованию указанных сплавов после термобарической обработки, авторы ограничиваются узкой областью составов, близких к MnSb. Между тем, несомненно, интересным является вопрос о влиянии термобарической обработки сплавов на границу области однофазности со стороны большего содержания марганца и на магнитные свойства. Ранее в работе [8] была исследована кристаллическая структура сплавов  $Mn_{1+x}Sb$  ( $0 \leq x \leq 1.0$ ), как полученных при нормальном давлении, так и подвергнутых воздействию высокого давления и температуры. При этом показано, что термобарическая обработка исходных образцов расширяет область существования однофазных сплавов с гексагональной кристаллической структурой до состава  $Mn_{1.5}Sb$  включительно. При этом параметры решетки гексагональной фазы сплавов указанных составов примерно соответствуют составу  $Mn_{1.3}Sb$  (рис. 1).

В настоящей работе исследованы магнитные свойства сплавов системы  $Mn_{1+x}Sb$  ( $0 \leq x \leq 0.5$ ).

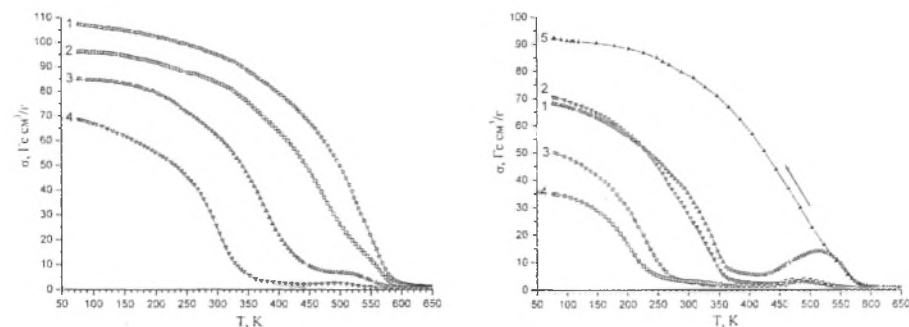
Зависимость намагниченности от температуры измерялась на созданной в ЛФММ ОИФТТП НАНБ измерительной установке методом Фарадея в поле 8.6 кЭ в интервале температур 80 – 650 К в режиме нагрева образца.

Результаты измерений представлены на рисунке 2. Из рисунка видно, что с увеличением концентрации марганца в сплавах сильно понижается их температура Кюри и практически линейно уменьшается намагниченность при температуре кипения жидкого азота.

Сплавы MnSb,  $Mn_{1.1}Sb$  и  $Mn_{1.2}Sb$ , после термобарической обработки, содержащие вторую фазу, имеют практически одинаковые зависимости намагниченности от температуры и представлены одним графиком состава  $Mn_{1.2}Sb$ .

Увеличение намагниченности при температуре выше 420 К свидетельствует о том, что образцы после воздействия высокого давления и температуры являются метастабильными и выше указанной температуры переходят в состоя-

ние, близкое к первоначальному. Это подтверждается измерениями намагниченности в режиме охлаждения (кривая 5).



**Рисунок 2.** Зависимость намагниченности насыщения сплавов  $Mn_{1+x}Sb$  от температуры: а – исходных: 1 –  $MnSb$ , 2 –  $Mn_{1,1}Sb$ , 3 –  $Mn_{1,2}Sb$ , 4 –  $Mn_{1,3}Sb$ ; б – после термобарической обработки: 1 –  $Mn_{1,2}Sb$ , 2 –  $Mn_{1,3}Sb$ , 3 –  $Mn_{1,4}Sb$ , 4 –  $Mn_{1,5}Sb$ , 5 –  $Mn_{1,2}Sb$  (охлаждение).

Полученные экспериментальные результаты можно качественно объяснить, если предположить сосуществование в сплавах  $Mn_{1+x}Sb$  обменных взаимодействий разных знаков: антиферромагнитного вдоль гексагональной оси и ферромагнитного в базисной плоскости. Как уменьшение параметра  $c$ , так и увеличение параметра  $a$  приводят к падению  $T_c$  за счет ослабления ферромагнетизма и усиления антиферромагнетизма.

## ЛИТЕРАТУРА

1. М. Хансен, К. Андерко. Структуры двойных сплавов Т. 2. Металлургиздат, Москва (1962).
2. Н. Takizawa, М. Shimada, Y. Sato, Т. Endo, Materials Letters 18, 11 (1993).
3. Т. Yamashita, Н. Takizawa, Т. Sasaki, К. Uheda, Т. Endo, J. All. Comp. 348, 220 (2003).
4. В.С. Гончаров, В.М. Рыжковский, Неорганические материалы 41, 5, 1 (2005).
5. Н.П. Гражданкина, И.В. Медведева, А.В. Пашеев, Ю.С. Берсенева, ЖЭТФ 81, 3(9), 1064 (1981).

6. В.М. Рыжковский, В.С. Гончаров, С.Е. Кичанов, Д.П. Козленко, Б.Н. Савенко, Труды Межд. научн. конф. “Актуальные проблемы физики твердого тела”, Минск, т. I, 120 (2005).

7. I. Teramoto, A.M.J.G. Van Run, J. Phys. Chem. Solids, 29, 347 (1968).

8. В.М. Рыжковский, В.С. Гончаров, ФТВД, 17, 2, 53 (2007).

## **АНАЛИЗ СПОСОБОВ ЗАЩИТЫ ИЗОЛЯЦИИ ОБМОТОК АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ОТ УВЛАЖНЕНИЯ**

Гурин В.В.,

УО “Белорусский государственный аграрный технический университет”, г. Минск

Известны следующие способы защиты изоляции обмоток электродвигателей от увлажнения:

- 1- полная изоляция электродвигателя или обмотки;
- 2- дополнительное покрытие изоляции влагостойкими лаками, эмалями или компаундами;
- 3- использование явления электроосмоса для вытеснения влаги из объема изоляции во время перерывов в работе электродвигателя;
- 4- подсушка изоляции в переменном электрическом поле во время перерывов в работе электродвигателя за счет джоулевых и диэлектрических потерь;
- 5- поддержание температуры обмотки выше температуры окружающей среды на 3-5 °С во время перерывов в работе электродвигателя.

В докладе приведен анализ указанных способов защиты изоляции обмоток электродвигателя от увлажнения.

Показано, что первый способ может быть реализован только при производстве электродвигателей, а второй – при текущем ремонте электродвигателей. Второй способ не предотвращает увлажнения обмотки, а усиливает её изоляционные свойства.

Третий способ на первый взгляд кажется весьма заманчивым в связи с малым потреблением электрической энергии, но имеет три серьезных недостатка:

1- влага выводится из изоляции, но не выводится из корпуса электродвигателя;

2- влага вытесняется в лобовые части обмотки и медленно восстанавливается межфазная изоляция;

3- активизируются электрохимические процессы окисления металла и меди обмотки внутри электродвигателя [1].

По указанным причинам этот способ не желателен для применения.

Четвертый способ основан на сушке изоляционных материалов в переменном электрическом поле за счет диэлектрических и джоулевых потерь. С увеличением частоты тока до 1000 Гц эффективность сушки в электрическом поле увеличивается в 4,8 раза по сравнению с сушкой без поля. Этот способ применительно к сушке обмоток электродвигателей не достаточно изучен.

Пятый способ основан на том факте, что поддержание температуры обмотки выше температуры окружающей среды на 3...5 °С не вызывает ее увлажнения. Этот способ надежнее рассмотренных выше способов, поскольку препятствует накоплению влаги внутри электродвигателя.

С целью экономии электрической энергии подогрев обмотки по этому способу следует производить после отключения электродвигателя не сразу, а только тогда, когда температура обмотки снизится до 3-5 °С выше окружающей среды. Добиться этого можно, контролируя температуру обмотки и температуру окружающей среды с помощью встроенных датчиков температуры [2]. Автор в докладе предлагает контролировать температуру обмотки по её сопротивлению и раскрывает суть предложения, реализованного в [3].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Сушка изоляции электродвигателей насосных агрегатов [Текст] / Л.Г. Прищеп, С.П. Изюмцев, А.В. Сергованцев.// Техника в сельском хозяйстве. – 1991 - №1 – с. 20-21.

2. А.с. 1045324 СССР, МКИ Н02Н7/0,8, Н02К3/44. Устройство для защиты обмоток электродвигателя от конденсации влаги [Текст]/ И.И. Мартыненко и [др.], (СССР). №2487527/24-07; Заявл., 20.05.77; опубл. 30.09.83. №36-4с.

3. А.с. 1474798 СССР, МКИ Н02К3/44, Н02Н7/08, 5/04. Устройство для защиты обмоток электродвигателя от конденсации влаги [Текст]/ А.А. Гелейша, В.В. Гурин, СССР. №4302262/24-07; заявл. 06.07.87; опубл. 23.04.89. Бюл. №15-5с.

## **РЕГУЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ДРОБИЛОК И ПЛЮЩИЛОК ЗЕРНА**

Дайнеко В.А., Прищепова Е.М.,

УО "Белорусский государственный аграрный технический университет", г.  
Минск

В таких технологических процессах, как дробление и плющение зерна, регулируемый электропривод обеспечивает снижение удельного расхода электроэнергии. В большинстве существующих дробилок и плющилок их производительность изменяется без учета физических свойств измельчаемого продукта (влажности, плотности). Производительность измельчающих агрегатов регулируют изменением количества материала, подаваемого в зону дробления (плющения).

При постоянном изменении сечения выпускного отверстия питателя дробилки интенсивность поступления продукта лежит в широких пределах; в таких же пределах колеблется и мощность воспринимаемая рабочей машиной; с её изменением меняется и мощность, отдаваемая электродвигателем.

Применение в системах управления загрузкой шнековых питателей с частотно – регулируемым приводом взамен задвижек, изменяющих сечение отверстия питателя, позволяет обеспечить плавное регулирование производительности машины. Кроме того, упрощается задача автоматизации технологического процесса дробления, так как современные преобразователи частоты имеют встроенные ПИД-регуляторы. Потребность в регулировании возникает в связи с необходимостью предотвращения завалов и технологических перегрузок, а

также стремлением обеспечить оптимальные режимы ведения процесса обработки материала.

Потребляемая мощность и расход электроэнергии на единицу перерабатываемой продукции зависят от вида перерабатываемого продукта, подачи и коэффициента полезного действия электродвигателя и машины. Последние два параметра зависят от степени загрузки машины. Поэтому необходимо обеспечить такую подачу продукта, при которой машина была бы загружена на номинальную мощность с наибольшим коэффициентом полезного действия и коэффициентом мощности и, следовательно, с наименьшим расходом электроэнергии на единицу перерабатываемой продукции при одновременном сокращении продолжительности работы в течение суток.

На энергетику процесса измельчения сырья оказывают большое влияние его физико-механические свойства, степень измельчения, количество материала, поступающего в рабочую камеру и другие факторы. Для любого сочетания факторов существуют экономичные режимы работы дробилок. В связи с этим целесообразно в каждом случае выбирать оптимальное значение загрузки дробилки. Это можно сделать в результате рассмотрения совместной работы электродвигателя и рабочей машины.

В связи с вышесказанным автоматическое управление работой дробилки может быть предназначено для выполнения двух задач:

- 1) стабилизация загрузки дробилки с целью защиты от технологических перегрузок и завалов;
- 2) оптимизация режимов работы дробилок.

## **ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ИЗМЕЛЬЧАЮЩИХ МАШИН**

Дайнеко В.А., УО БГАТУ, Цховребов А.А., БарГУ, г. Минск

Разработка устройств контроля загрузки является актуальной задачей для создания энергосберегающих электроприводов сельскохозяйственных машин, ис-

пользуемых для сельскохозяйственных предприятий и комбикормовых заводов. В одних машинах используются электроприводы постоянной скорости главного двигателя, а в других с регулированием скорости рабочих органов. В обоих случаях требуется контролировать степень загрузки машины и обеспечивать оптимальный режим её работы. Обзор систем автоматического регулятора загрузки дробилок и зерна кормов показывает, что наилучшие результаты получаются при регулировании по мощности, потребляемой главным электродвигателем.

Разработан и испытан преобразователь мощности на основе специализированной микросхемы AD5577, на входы которой поступают сигналы тока и напряжения в цепи статора электродвигателя, а на выходе выделяется сигналы в виде частоты, пропорциональной мощности.

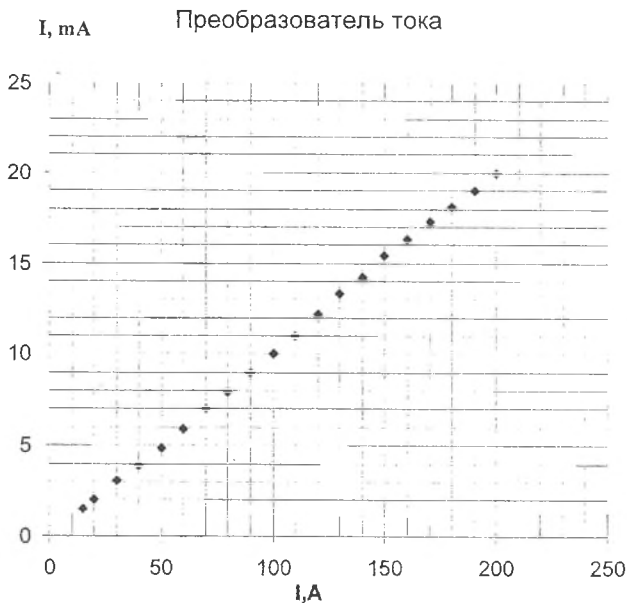
Входной сигнал, пропорциональный току статора электродвигателя поступает от вторичной обмотки трансформатора тока или с выхода разработанного авторами датчика тока на основе элемента Холла.

Электрические параметры преобразователя : **I<sub>вх</sub>** - номинальный входной ток, амплитудное значение 200 А; **I<sub>пр</sub>** - диапазон входных токов 0 ... 400 А; **I<sub>вых</sub>** - выходной ток 4...20 мА в диапазоне входных токов 0...200 А; **U<sub>вых</sub>** – выходное напряжение 0...10 В в диапазоне входных токов 0...200А; напряжение питания + 15...+36 В; потребляемый ток 18 мА;

частотный диапазон 20 ... 500 Гц; рабочая температура –30 ...+70 °С

Основная погрешность не более 2%

При соответствующей настройке пределы измерения преобразователя тока можно изменять в широких пределах (от десятков миллиампер до сотен ампер).



Разработанные измерительные преобразователи были испытаны в лабораторных и производственных условиях. Они используются в системе регулирования загрузки дробилки зерна совместно с частотно-регулируемым электроприводом шнекового загрузчика.

#### Литература

1. А.М. Мусин. Электропривод сельскохозяйственных машин и агрегатов. –М.: Агрпромиздат, 1985, 239 с.
2. Барночников М.Л. Микромагнитоэлектроника. Т.1. – М.: ДМК Пресс, 2001. – 554 с.

# ПРИМЕНЕНИЕ УЛУЧШЕННЫХ ЛЮМИНОФОРОВ ДЛЯ СВЕТОДИОДОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ СИСТЕМАХ ОСВЕЩЕНИЯ

Добродей А.О.,

УО «Гомельский государственный технический университет имени П.О.

Сухого», г. Гомель

В условиях постоянно растущих потребностей человечества в использовании искусственного освещения остро стоит вопрос о высокоэффективных источниках света, способных удовлетворить спрос на освещение при минимальных затратах электроэнергии. Такими высокоэффективными источниками света являются светоизлучающие диоды (СИД).

На долю освещения приходится около 16 % всей производимой электроэнергии. Можно выделить три основных сектора потребления электроэнергии – промышленный, коммерческий (общественный) и жилой сектор. Расход электроэнергии, потребляемой на освещение, для каждого из секторов представлен в табл. 1 [1].

Таблица 1. Потребление электроэнергии на освещение

Сектор потребления	Доля освещения в потребляемой сектором электроэнергии, %
Промышленный	6,3
Коммерческий	28,6
Жилой	11,4

Светодиод – полупроводниковый источник света, содержащий один или несколько испускающих свет кристаллов, расположенных в одном корпусе с линзой, формирующей световой поток. Его принцип работы основан на явлении электролюминесценции – холодного свечения возникающего при протекании тока. Состав материалов, образующих р-п переход определяет тип излучения.

Для систем искусственного освещения применяются два основных вида источников света – лампы накаливания (ЛН) и газоразрядные лампы, среди ко-

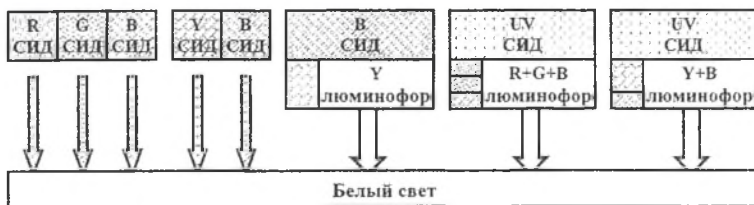
торых особо стоит выделить люминесцентные лампы (ЛЛ). Сравнительный анализ СИД с традиционными источниками света представлен в табл. 2.

Таким образом, из приведенного выше сравнения видно, что светодиоды за счет низкого расхода финансовых средств в течение периода эксплуатации, длительного жизненного цикла, высокой яркости, отсутствия инфракрасного и УФ излучений, являются лидерами в рейтинге источников света.

Современные СИД с наибольшим световым потоком производятся на кристаллах InGaN. Они излучают свет длиной волны 470нм (синий). Белый свет получают путем смешения излучений светодиодов и люминофоров (рис. 1) [2].

Таблица 2. Сравнительный анализ источников света

Параметр сравнения	Светодиоды	Люминесцентные лампы	Лампы накаливания
Размеры	Компактные	Габаритные	Компактные
Ударостойкость	Устойчивы	Хрупкие	Хрупкие
Влагостойкость	Да	Нет	Нет
Энергопотребление	Малое	Среднее	Высокое
Светоотдача	Средняя	Высокая	Низкая
Возможность получения цветного света	Есть	Светофильтр	Светофильтр
Срок службы, час	До 100 000	До 10 000	До 1 000
Простота монтажа и обслуживания	Да	Нет	Нет
Инерционность	Очень низкая	Высокая	Высокая
Зависимость срока службы от количества включений / выключений	Нет	Высокая	Высокая
ИК-излучение	Нет	Минимальное	Очень высокое
УФ-излучение	Нет	Очень высокое	Приемлемое
Температура эксплуатации	-30 - +70 °С	+10 - +50 °С	Не имеет значения
Стоимость	Высокая	Средняя	Низкая
Эксплуатационные расходы	Низкие	Приемлемые	Очень высокие



R, G, B, Y, UV – красный, зеленый, синий, желтый, ультрафиолетовый СИД  
 R, G, B, Y – красный, зеленый, синий, желтый люминофор

Рис. 1. Основные способы получения белого света с помощью светодиодов и люминофоров

Каждый способ имеет свои достоинства и недостатки. Способ смешения излучений нескольких СИД для практических применений неудобен, поскольку необходимо иметь несколько источников различного напряжения, много контактных соединений и устройства, смешивающие и фокусирующие свет от нескольких СИД.

Способы смешения излучения СИД с излучением люминофора наиболее просты и экономичны. Белые светодиоды обладают хорошей цветопередачей и намного дешевле, чем RGB-матрицы. Их светоотдача (до 50 Лм/Вт) выше, чем у ламп накаливания, но ниже, чем у RGB-матриц из-за преобразования света в слое люминофора. Также люминофор подвержен старению.

Сейчас для производства белых СИД в качестве желтого люминофора-используют иттрий-алюминиевый гранат (ИАГ), легированный церием. Для теплых белых СИД – смеси с оранжевым или красным люминофором.

Люминофоры на основе ИАГ имеют некоторые недостатки: узкая полоса возбуждения, ограничения на цветовую температуру и индекс цветопередачи излучения. Тем не менее, их эффективность довольно высока (индекс цветопередачи на уровне 80) [3]. Ведутся разработки эффективных однофазных люминофоров, позволяющих создавать с их помощью теплые белые СИД [4]. Основные идеи актуальных разработок в этом направлении следующие [3]:

1. Использование в качестве активатора двухвалентного европия с широкой полосой возбуждения [5, 6].
2. Построение матрицы люминофора на группировках и  $\text{SiN}^+ \text{AlO}^+$ .
3. Группировки  $\text{SiN}^+$  обеспечивают хорошие химические свойства, такие как высокая стабильность.
4. Содержание и расположение группировок  $\text{AlO}^+$  обеспечивает необходимые оптические свойства, такие как цвет излучения, высокая квантовая эффективность.
5. Координационная сфера активатора составлена атомами кислорода и азота.

В настоящее время в НИЛ технической керамики и наноматериалов ГГТУ им. П.О. Сухого проводятся научно-исследовательские и технологические работы по созданию люминесцентных трансформирующих материалов с улучшенными спектральными и теплофизическими характеристиками (YAG: Ce<sup>3+</sup>, Eu<sup>3+</sup>; YAG: SiO<sub>2</sub>, Ce<sup>3+</sup>, YAG: SiO<sub>2</sub>, MgO, Ce<sup>3+</sup> и др.), а также прогрессивных коллоидно-химических методов их производства. Пример спектра люминесценции церий-содержащего порошка ИАГ приведен на рис. 2.

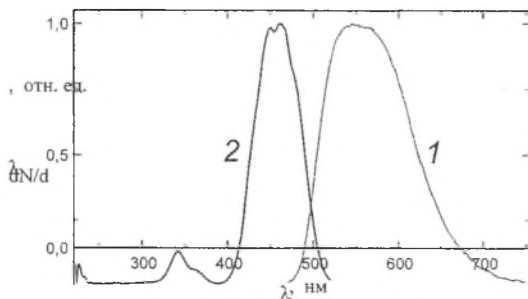


Рис. 2 Корректированные спектры люминесценции (1) и её возбуждения (2) для люминофора на основе ИАГ: Ce<sup>3+</sup>, полученного золь-гель методом

Спектрально-люминесцентные характеристики образцов порошкообразных материалов, полученных путем соосаждения в присутствии органического темплата с последующей прокалкой осадка при 1000°C продемонстрировали перспективность синтезированных материалов для осветительных устройств на основе светодиодов. По эффективности люминесценции данные люминофоры не уступают полученным традиционным методом люминофорам НПФ «Люминофор» (г. Ставрополь, РФ) и обладают более высоким «спектроскопическим потенциалом» благодаря возможности управления структурой оптических центров на различных стадиях золь-гель процесса, а также более низкой температуры синтеза.

#### Литература

1. Светодиоды – новые технологии рынка освещения. [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://www.ledmir.ru/public\\_01.htm](http://www.ledmir.ru/public_01.htm). – Дата доступа: 09.11.2006.

2.Пять способов получения белого света. Дедов В.П. [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://www.infor.sp.ru/led\\_spectra.htm](http://www.infor.sp.ru/led_spectra.htm). – Дата доступа: 26.10.2006.

3.Перспективные люминофоры для белых светодиодов. Феопентов А. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://u987.netangels.ru/reviews/papers/yellphos>. – Дата доступа: 09.01.2007.

4.United States Patent № US 7126274 B2 Light emitting device with blue light LED and phosphor components / Y. Shimizu and other (JP) // 24.10.2006.

5.Nazarov M. High efficient LED for white light / M. Nazarov and other // Moldavian Journal of the Physical Sciences. – 2005. – Vol. 4, № 4. – P. 485 – 495

6.United States Patent № US 7061024 B2 Light-emitting device comprising an Eu(II) – Activated phosphor / P. Schmidt and other (DE) // 13.06.2006

## **ОСНОВЫ МЕХАНИЗМА ЭЛЕКТРОКОАГУЛЯЦИИ БЕЛКОВ КАРТОФЕЛЬНОГО СОКА**

Дубодел И.Б., Кривовязенко Д.И.,

УО “Белорусский государственный аграрный технический университет”, г. Минск

Эффективность использования кормовых материалов в значительной мере зависит от совершенства методов их обработки и подготовки к скармливанию. Проблема обработки состоит в отсутствии способов, позволяющих в полной мере использовать питательный потенциал кормов. Кроме того, значительную часть питательных веществ теряют с побочными продуктами переработки сельскохозяйственной продукции.

Ежегодно в Республике Беларусь на картофелекрахмальных предприятиях при переработке картофеля получают свыше 105 тыс. тонн сока, содержащего более 3 тыс. тонн белка, использование которого могло бы пополнить кормовую базу животноводства. Существующие способы по коагуляции выделяют до 85% белков при энергоемкости 0,15...0,40 МДж/кг. Предлагаемый способ электрокоагуляции увеличивает выход белков на 15...50% и снижает энергоемкость

на 30...80%. Успешное осуществление процесса электрокоагуляции требует знания его механизма.

Устойчивость коллоидной системы в электрическом поле определяется суммарной энергией взаимодействия молекул белков  $W$ , состоящей из энергии межмолекулярного притяжения  $W_m$ , электростатического отталкивания  $W_s$  и диполь-дипольного взаимодействия частиц  $W_d$ :

$$W = W_m + W_s + W_d. \quad (1)$$

Суммарная энергия взаимодействия молекул зависит от ряда факторов, важнейшие из которых - температура  $T$  и электрокинетический потенциал (дзета-потенциал)  $\zeta$ . Энергия коагуляции может быть достигнута повышением температуры более 343 К или снижением дзета-потенциала менее  $30 \cdot 10^{-3}$  В. В последнем случае энергия коагуляции достигается при энергозатратах в 1,8...2,0 раза меньших.

Методом электрофореза установлено, что дзета-потенциал зависит от водородного показателя среды ( $pH$ ). Наибольшая коагуляция молекул происходит при снижении  $pH$  от начального (естественного) до 4,8...5,0, что соответствует изоэлектрической точке белков картофельного сока. Водородный показатель зависит от количества электричества  $Q$ , прошедшего через сок картофеля. Для среды анолита эти зависимости имеют вид:

$$\zeta = 0,039pH - 0,185, \quad (2)$$

$$pH = 6,5 - 0,0002Q. \quad (3)$$

Математическая модель процесса электрокоагуляции белков с учетом (1), (2), (3) имеет вид:

$$W = 16 \varepsilon_0 \varepsilon_c \left[ \frac{RT}{F} \right]^2 \ln^2 \left[ \frac{(6,9 \cdot 10^{-2} - 1 \cdot 10^{-5} Q) F_1 e}{4kT} \right] \cdot a \frac{e^{-a(S-2)}}{S} - \frac{A}{6} \left[ \frac{2}{S^2 - 4} + \frac{2}{S^2} + \ln \frac{S^2 - 4}{S^2} \right] - 4 \varepsilon_0 \varepsilon_c \left[ 0,5 - \frac{3ch \left[ \frac{(6,9 \cdot 10^{-2} - 1 \cdot 10^{-5} Q) F_1 e}{2kT} \right] - 1}{4ch \left[ \frac{(6,9 \cdot 10^{-2} - 1 \cdot 10^{-5} Q) F_1 e}{2kT} \right] + xa} \right] \left[ \frac{a}{S} \right]^3 E^2.$$

где  $\epsilon_0$  – электрическая постоянная, Ф/м;  $\epsilon_c$  – относительная диэлектрическая проницаемость среды;  $R$  – газовая постоянная, Дж/(моль\*К);  $T$  – температура, К;  $F$  – число Фарадея, Кл/моль;  $z_i$  – валентность иона;  $e$  – заряд электрона, Кл;  $k$  – постоянная Больцмана, Дж/К;  $a$  – размер частицы, м;  $S = \frac{h}{a} + 2$  – относительное расстояние между частицами;  $h$  – расстояние между частицами, м; – параметр Дебая-Гюккеля, м<sup>-1</sup>;  $A$  – постоянная Гамакера, Дж;  $E$  – напряженность электрического поля, В/м.

Оптимальные параметры электрокоагуляции белков определены методом Монте-Карло. Критерием оптимизации принят минимум суммарной энергии взаимодействия белковых частиц и энергозатрат при максимальном выходе белков. Получены следующие параметры электрокоагуляции:

- количество электричества –  $(6,5 \dots 7,5) 10^3$  Кл/кг;
- рН сока – 4,6...5,0;
- температура обработки – 30...40 °С.

## **ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПРОКЛАДКЕ ВНУТРИКВАРТАЛЬНЫХ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ**

Зайцева Н.К., Гаркуша К.Э., Коротинский В.А., Жалобкевич А.Л.

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,

Пархута В.Д., Хатенко В.А., СООО «БелЕвроПласт», г. Минск

В Республике Беларусь принята Государственная комплексная программа модернизации основных производственных фондов Белорусской энергетической системы, энергосбережения и увеличения доли использования в республике собственных топливно-энергетических ресурсов в 2006-2010 годах.

Одним из основных пунктов программы является использование в строительстве предварительно изолированных труб (ПИ-труб), имеющих высокие теплотехнические характеристики.

Качество трубопроводов тепловых сетей, их надежность, долговечность, ремонтпригодность, экологическая безопасность во многом зависят от выбора материала труб, материала тепловой изоляции и применения новых современных технологий монтажа.

Распределительные внутриквартальные тепловые сети систем отопления и горячего водоснабжения, протяженность которых только по Минской области составляет более 1159км [1], выполнены из стальных труб с изоляцией минераловатными изделиями. Данные трубы подвержены коррозии и находятся в неудовлетворительном состоянии. Следствием такого состояния сетей являются ежегодно растущие потери теплоты и воды, которые достигают 30-40% от общей выработки [1].

Повышение надежности стальных трубопроводов путем увеличения коррозионной стойкости является сложным и дорогостоящим процессом. Внедрение же современных наукоемких теплосберегающих технологий позволяет создать эффективную, а главное надежную систему теплоснабжения.

Использование полимерных предварительно изолированных труб «Изопрофлекс» способствует сокращению потерь теплоты, существенно снижает аварийность работы, полностью исключает коррозию напорной трубы, повышает долговечность и надежность сетей. Это, в свою очередь, позволяет добиться бесперебойного снабжения потребителя теплотой и горячей водой, а также отказаться от двухнедельного перерыва в горячем водоснабжении, обусловленного необходимостью гидравлических испытаний тепловых сетей, так как при применении полимерных труб гидравлические испытания не требуются.

В Республике Беларусь на протяжении 2,5 лет применяются гибкие трубопроводы «Изопрофлекс» производства ЗАО «Завод АНД Газтрубпласт».

Динамика потребления труб «Изопрофлекс» и «Касафлекс» в Беларуси приведена на графике рис. 1.

В Европе трубы из сшитого полиэтилена используются при рабочей температуре до 95<sup>0</sup>С и рабочем давлении до 0,6 МПа, либо до 70<sup>0</sup>С и давлении 1,0

МПа. На заводе АНД «Газтрубпласт» была специально разработана многослойная напорная труба, усиленная армированным слоем из кевлара, «Изопрофлекс - АМ». По сути, это единственная на сегодняшний день в мире гибкая полимерная теплоизолированная труба, которая выдерживает давление 1,0 МПа при температуре 95<sup>0</sup>С.

Итого на 20.09.2007 в Беларуси проложены внутриквартирные тепловые сети из труб «Изопрофлекс» и «Касафлекс» протяженностью 77,5км.

Потребность труб «Изопрофлекс» и «Касафлекс» на 2006 год в зависимости от диаметра приведена в таблице 1.

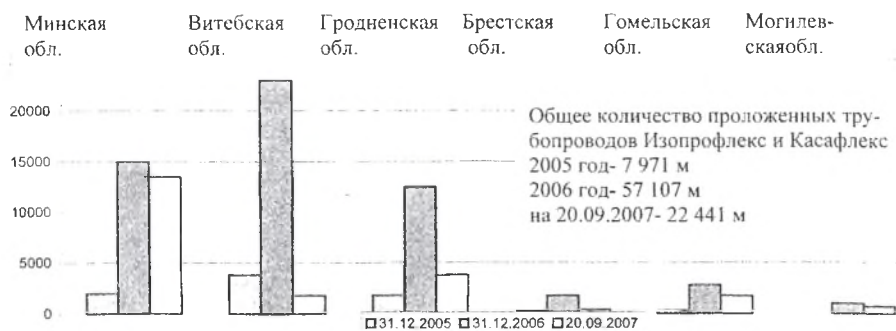


Рис. 1. Потребление в Беларуси труб Изопрофлекс и Касафлекс

Таблица 1 Годовая потребность труб «Изопрофлекс» и «Касафлекс»

Изо- профлекс	Ø мм	Типоразмер									
		160/ 225	140/ 200	110/ 160	90/ 140	75/ 125	63/ 110	50/9 0	40/7 5	32/7 5	25/7 5
	м	3578	6286	7197	6295	7133	9122	6736	5738	4134	693
Касаф- лекс	Ø мм	Типоразмер									
		143/ 200	109/ 160	86/ 140	66/ 125	55/ 110					
	м	359	453	561	536	2308					

Малый вес труб «Изопрофлекс» существенно облегчает их транспортировку, монтаж и сокращает сроки строительства. Конструкция труб позволяет обходиться без компенсаторов тепловых удлинений.

Были исследованы гидравлические и тепловые режимы в трубах «Изопрофлекс» и стальных ПИ-трубах с целью выявления наиболее эффективного и экономичного варианта для прокладки распределительных внутриквартальных сетей.

Расчеты и исследования проводились в соответствии с техническими рекомендациями завода-изготовителя [2]. Было выявлено, что диаметры труб имеют различные значения живого сечения, и поэтому сравнение полученных результатов осуществлялось, принимая во внимание сечения напорных трубопроводов и одинаковые скорости.

Как показали расчеты, удельные потери давления и, соответственно, удельный расход электроэнергии у труб «Изопрофлекс» по сравнению с металлическими ПИ-трубами в среднем в 1,5-2 раза меньше.

Потери теплоты у труб «Изопрофлекс» незначительно меньше, чем у металлических ПИ-труб. Это объясняется несовпадением их наружных диаметров.

Наиболее эффективным, надежным и экономически выгодным видом предизолированных труб являются трубы «Изопрофлекс», монтаж которых осуществляется по современной технологии.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Александров В., Хатенко А. Тепло «Евротрубпласта» в Республике Беларусь// Полимерные трубы. М: Специальное информационно-аналитическое издание №3 2005г.

2. ЗАО «Завод АНД Газтрубпласт» Технические рекомендации на гибкие предизолированные трубы для горячего водоснабжения и сетей отопления «Изопрофлекс».

## РАСЧЕТ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА В ПОМЕЩЕНИЯХ ОТАПЛИВАЕМЫХ ЗДАНИЙ

Захаревич А.Э.,

УО «Белорусский национальный технический университет», г. Минск

Сложность обеспечения параметров микроклимата в помещениях отапливаемых зданий вытекает из системности задачи. В связи с этим для решения данной проблемы требуется тщательный анализ и изучение влияния на параметры микроклимата всей совокупности определяющих факторов. Только численные методы с использованием ЭВМ могут обеспечить максимально глубокое изучение вопроса с минимальными финансовыми и временными затратами.

При работе систем отопления в формировании параметров микроклимата помещения значительную роль играет естественная конвекция (ЕК). Картина возникающей в помещении циркуляции воздуха определяется геометрическими характеристиками этого помещения, взаимным расположением теплых и холодных поверхностей. Влияние на движение воздуха также оказывает мебель и оборудование, различные перегородки и другие препятствия, имеющиеся в помещении. Следует помнить и о движении воздуха, формируемого системой вентиляции.

Формируемые в процессе ЕК температурное и скоростное поля воздушной среды можно найти при решении системы дифференциальных уравнений, состоящей из уравнения движения (Навье-Стокса), уравнения неразрывности и уравнений переноса. Для воздушной среды отапливаемых помещений характерны относительно малые перепады температур, что позволяет при решении упомянутой выше системы дифференциальных уравнений принять допущение Буссинеска – Обербека. Тем не менее, даже с упомянутым допущением система уравнений ЕК весьма сложна для численного решения, аналитическое решение ее пока невозможно. В данном исследовании для решения задач ЕК принят метод конечных разностей. Нами разработан алгоритм, основанный на итераци-

онном методе Зейделя с последовательной верхней релаксацией, в котором для дифференциальных операторов использована консервативная монотонная аппроксимация первого порядка.

На рисунках 1 и 2 представлены результаты расчета, осуществленного по разработанной программе. В ней реализована разработанная нами под руководством доктора техн. наук П.И. Дячека двумерная численная модель отапливаемого помещения, в которой учитываются процессы теплопередачи в ограждающих конструкциях с различным конструктивным решением, перенос теплоты в пограничном слое, формируемом на внутренней поверхности ограждений, реальный характер изменения параметров наружного воздуха, конвективный теплоперенос в свободном объеме помещения.

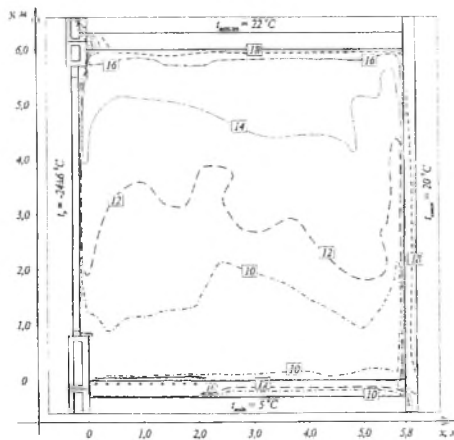


Рисунок 1 - Температурное поле

Расчетная область размером и формой представляет вертикальный разрез по окну воздушной среды помещения и ограждающих конструкций. В примере реализовано напольное отопление в приоконной зоне шириной 2 м. Место расположения отопительных элементов в ограждениях схематически показано точками. Размеры помещения составляют  $5,8 \times 6,0(h)$  м. Теплообмен между внешними поверхностями ограждающих конструкций, наружным воздухом и

воздухом смежных помещений задан с помощью граничных условий третьего рода.

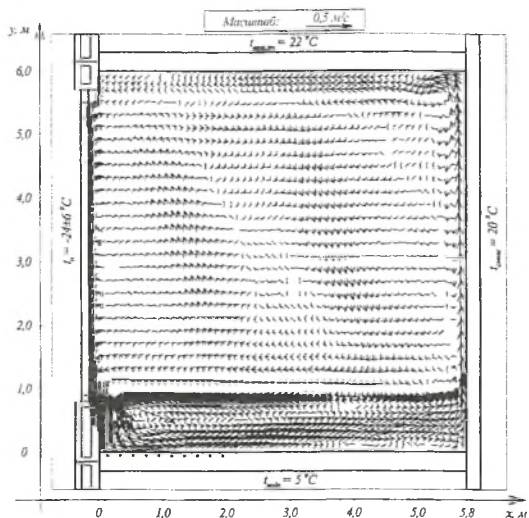


Рисунок 2 - Поле векторов скорости

Проанализируем, соответствует ли комфорту полученное распределение параметров микроклимата. Отметим, что для помещений жилых и общественных зданий, где отсутствуют существенные выделения влаги и где нет механических систем вентиляции, допустимо пренебрегать влиянием влажности и подвижности воздуха на теплоощущение. В этом случае средствами управления теплоощущениями людей остаются только два фактора: температура воздуха и средняя радиационная температура.

Средняя температура воздуха, полученная в расчете, составляет  $12^{\circ}\text{C}$ , что значительно ниже расчетного значения в  $18^{\circ}\text{C}$  для помещений жилых и общественных зданий с сухим и нормальным режимом. При этом средняя температура поверхностей, обращенных в помещение, имеет значение  $12,9^{\circ}\text{C}$ , не только не позволяющее исправить дискомфорт, обусловленный пониженной температурой воздуха, но и усиливающее его.

На рисунке 2 видно, что холодные потоки воздуха, образующиеся на поверхности окна, опускаются вниз и настилаются на поверхность пола, что создает дополнительный дискомфорт в области ног. В итоге вся зона пребывания людей (высотой 2 м от пола) находится в области сильного теплового дискомфорта. При этом увеличение тепловой мощности системы напольного отопления недопустимо из-за превышения предельно допустимого значения температуры поверхности пола в 26°C, обусловленного санитарно-гигиеническими требованиями.

#### **Выводы:**

1. Распределение параметров микроклимата в помещении во многом определяется процессами ЕК.

2. ЕК в отапливаемых помещениях является многофакторным и малоизученным явлением, в особенности применительно к помещениям с нетиповыми характеристиками.

3. Использование программ, моделирующих процессы тепломассообмена, позволит на этапе проектирования выбрать лучшие способы и средства обеспечения параметров микроклимата. А именно: найти оптимальное место размещения отопительных приборов, их размеры и тип, оценить состояние ограждающих конструкций, дать рекомендации по более рациональной организации планировки помещения и т. п.

4. Использование специализированных программных комплексов выгодно отличается от применения натуральных экспериментов минимальными финансовыми и временными затратами.

## **ЭЛЕКТРОАКТИВАЦИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ ДРОЖЖЕЙ**

Заяц А.Е.,

УО “Белорусский государственный аграрный технический университет”, г. Минск

Производство кормовых дрожжей в Беларуси составляет более 50 тысяч

тонн в год. Перспективным сырьем для выращивания биосинтетического белка являются побочные продукты переработки растительного сырья. Проблема производства кормовых дрожжей состоит в неполном использовании питательного потенциала растительного сырья и биологического потенциала микроорганизмов.

Одним из способов решений проблемы является электролитическая активация роста микроорганизмов. Анализ исследований подтверждает влияние электрического тока на изменения в структуре материалов растительного происхождения и активность микрофлоры, показывает отсутствие должных теоретических и практических разработок в области электрообработки сырья и микрофлоры для биосинтеза белка.

Применительно к биосинтезу белка кормовых дрожжей суть электролитической активации состоит в изменении концентрации ионов и температуры среды дозированием количества электричества и тем самым влиянием на обмен ионами между дрожжевой клеткой и средой, и ее скорости роста.

В наших работах [1...3] показано, что диффузия ионов через поры мембраны дрожжевой клетки зависит от потенциала на поверхности мембраны клетки, который можно изменить концентрацией ионов в питательной среде. В свою очередь концентрация ионов зависит от количества электричества, протекающего через питательную среду, расположенную между токоподводящими электродами в анодной и катодной зонах.

В свою очередь, количество электричества определяется удельной эквивалентной проводимостью среды, напряженностью электрического поля и геометрическими параметрами электроореактора.

Максимальная диффузия питательных веществ в клетку достигается при плотности заряда на ее поверхности равной нулю. Этому условию соответствует некоторая концентрация ионов в окружающей

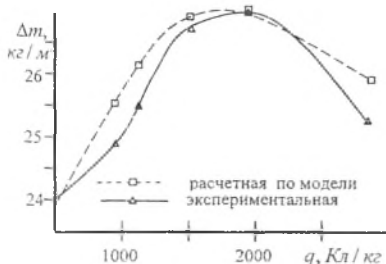


Рисунок 1 – Зависимость роста биомассы дрожжей от количества электричества пропущенного через питательную среду

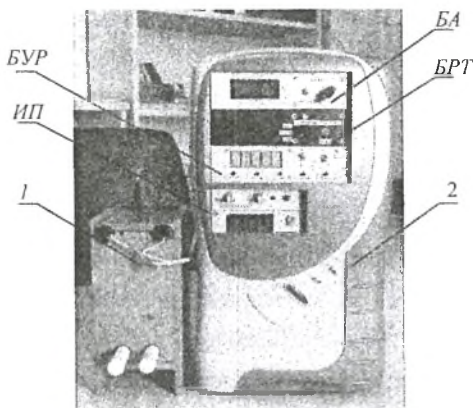
Этому условию соответствует некоторая концентрация ионов в окружающей

среде, ее  $pH$  и количество электричества, протекающее через среду, которые можно назвать оптимальными.

Совокупность уравнений описывающих эти взаимосвязи представляют собой математическую модель роста биомассы дрожжей в зависимости от параметров электрического поля, которая позволяет рассчитывать и оптимизировать количество электричества, напряженность электрического поля и другие показатели процесса электрообработки дрожжей.

Апробация способа активации на Бобруйском РУП «Гидролизный завод» и на ОАО «Дрожжевой комбинат» показали – электроактивация при оптимальных параметрах увеличила по сравнению с принятой технологией выращивания

соответственно для дрожжевых грибов *Trichosporon cutaneum*, *Candida tropicalis* и *Saccharomices cerevisiae*: число клеток – на 15...23 %, и 25...47 %, прирост биомассы – на 11...13 % (рисунок 1), и 11...22 %, продуктивность – на 24...29 %. Дополнительные энергозатраты составляют 7200...10800 Дж/кг питательной среды. Электроактиватор (рисунок 2) разработан согласно техническим требованиям, состоит из электрореактора и устройства питания и регулирования (УПР). УПР обеспечивает изменение и контроль количества электричества,



1 – электрореактор; 2 – устройство питания и регулирования; ИП - источник питания; БУР - блок управления режимом обработки; БА- блок аэрации; БРТ - блок регулирования температуры

Рисунок 2 - Общий вид электроактиватора роста биомассы дрожжей

напряженности электрического поля и плотности тока в среде, продолжительности обработки, температуры, аэрации.

Мощность электроактиватора 15Вт, в том числе мощность электрореактора 0,3 Вт. Предназначен для работы в микробиологической лаборатории для активации дрожжевых клеток [4].

#### Литература

1. Заяц, Е.М. О механизме влияния электрического тока на микроорганизмы / Е.М. Заяц, А.Е. Заяц // Агропанорама. – 1999. – № 2.
2. Заяц, А.Е. Модель электролитической активации продуцента кормовых дрожжей / А.Е. Заяц // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2006. – № 8. – С. 13–16.
3. Заяц, А.Е. Физические свойства зерновой барды при электролитической обработке / А.Е. Заяц // Аграрная энергетика в XXI столетии : материалы III МНТК / Институт энергетики АПК НАН РБ. – Минск, 2005.
4. Заяц, А.Е. Электроактиватор микробиологических процессов / А.Е. Заяц, В.И. Загинайлов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – Москва, 2006. – № 9. – С. 8–9.

## ОСНОВЫ МЕХАНИЗМА ЭЛЕКТРООБРАБОТКИ ФУРАЖНОГО ЗЕРНА

Кардашов П.В., Лицкевич Е.И.,

УО “Белорусский государственный аграрный технический университет”, г. Минск

Фуражное зерно, измельченное и увлажненное водным раствором химреагента представляет собой зерновую массу. Зерновая масса по структуре представляет собой довольно сложную систему. В простейшем случае в условиях обработки зерновую массу можно рассматривать как двухфазную глубокодисперстную систему, в которой дисперсной средой является увлажняющий раствор, а дисперсной фазой – макрочастицы растительной ткани зерна. Частицы, в свою очередь, являются сложными системами, представляющими коллоидные капиллярно пористые тела в виде объемной ажурной матрицы из вещества растительной ткани, полости и микрокапилляры которой заполнены раствором с возможным включением воздуха. Дисперсная среда образует пространственную жидкостную матрицу в виде систем, свя-

занных между собой жидкостных каналов и прослоек между частицами и внутри частиц по системе их макро- и микро капилляров и пор.

Для повышения питательной ценности фуражного зерна, которая заключается в клейстеризации крахмала, зерновую массу помещают между токоподводящими электродами, разделенными ионоселективной мембраной, и пропускают электрический ток определенных параметров. В результате прохождения электрического тока изменяется количество активных ионов в зерновой массе: в прианодной зоне накапливаются ионы  $\text{H}^+(\text{H}_3\text{O}^+)$ , в прикатодной –  $\text{OH}^-$ . Мембрана препятствует рекомбинации ионов. Далее эти ионы переносятся из приэлектродных областей в зерновую массу и вступают в реакцию ионного замещения с растительной тканью. Поток ионов, доставляемых к поверхности растительной ткани, образует электрический ток  $j$  (рис.1), часть которого протекает через жидкостные каналы микропор растительной ткани не вступая во взаимодействие, другая часть вступает в реакцию ионного обмена с веществом растительной ткани, образуя фарадеевский ток, определяющий скорость этой реакции, а ее глубина, по закону Фарадея, пропорциональна количеству электричества, протекающему через зерновую массу.

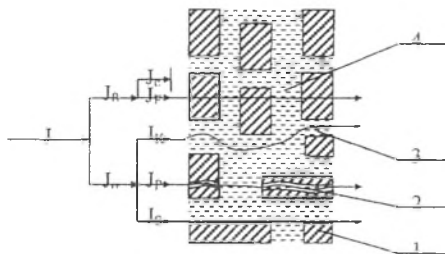


Рисунок 1 – Упрощенная схема токов в зерновой массе при электрообработке: 1 – элемент растительной ткани; 2 – микропоры растительной ткани; 3 – сплошные жидкостные мостики между токоподводящими электродами; 4 – жидкостные прослойки между элементами растительной ткани;  $J_C$  – ток перезарядки двойного слоя;  $J_F$  – фарадеевский ток;  $J_R$  – ток сквозной проводимости по жидкостным мостикам;  $J_P$  – ток по микропорам растительной ткани;  $J_S$  – ток поверхностной проводимости ткани

Таким образом, изменение свойств вещества фуражного зерна протекает в результате реакции ионного замещения активными ионами раствора одновременно фиксированных ионов вещества под действием электрического тока.

Механизм электрохимического повышения переваримости фуражного зерна основан на воздействии электрического тока определенных параметров на измельченное и увлажненное зерно, расположенное между токоподводящими электродами, разделенными мембраной, который изменяет температуру, концентрацию ионов  $H^+$ ,  $OH^-$ , pH среды, скорость и глубину клейстеризации крахмала и в конечном счете питательную ценность зерна.

### **ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ЗА СЧЕТ ВНЕДРЕНИЯ СВЕТОДИОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА**

Колесник Ю.Н., Евминов Л.И., Иванейчик А.В., Соболев Е.В.

УО «Гомельский государственный технический университет имени П.О.  
Сухого», г. Гомель

В настоящее время существует множество разнообразных источников света, имеющих различные энергетические и световые характеристики. Все они отличаются по назначению, и у каждого из этих источников есть свои достоинства и недостатки. Однако наиболее перспективными источниками света, способными в скором будущем вытеснить лампы накаливания, и даже люминесцентные лампы, являются светодиоды [1]. Светодиод - полупроводниковый прибор с электронно-дырочным p-n-переходом, генерирующий при прохождении через него электрического тока оптическое излучение. Светодиоды обладают высоким уровнем светоотдачи и малым энергопотреблением, длительным сроком службы – до 100 000 часов и высокой механической прочностью и надежностью. Малое тепловыделение и низкое питающее напряжение гарантируют высокий уровень безопасности, а безинерционность делает светодиоды незаменимыми, когда нужно высокое быстродействие. Однако на сегодняшний

день светодиоды имеют относительно высокую стоимость. Поэтому возникает *важная задача по технико-экономическому обоснованию эффективности* этих источников света с целью более грамотного и экономически обоснованно-го управления осветительной нагрузкой.

На примере основного помещения чулочного цеха ОАО “8 Марта”, с помощью компьютерной программы [2], разработанной на основе математической модели [3], была произведена технико-экономическая оценка эффективности замены светильников с люминесцентными лампами типа ЛБ на светодиодный светильник с лампой типа Т8 [4]. Основные характеристики ламп приведены в таблице 1.

Таблица 1. Основные характеристики ламп

Параметр	Светодиодная лампа типа Т8	Лампа типа ЛБ
Мощность, Вт	8,3	36
Срок службы, часов	100 000	13 000
Световой поток, лм	6100	3350

Расчёт технико-экономической эффективности источников света производился с учётом роста цен на электроэнергию (30%) – пунктирная линия (рис. 1), и без учёта роста цен – сплошная линия (рис. 1). Стоимость электроэнергии бралась равной 202,3 руб./кВт·ч., а ставка рефинансирования – 10,25% [5]. В расчётах стоимость работ по замене светильников принималась равной 10% от стоимости светильников [6].

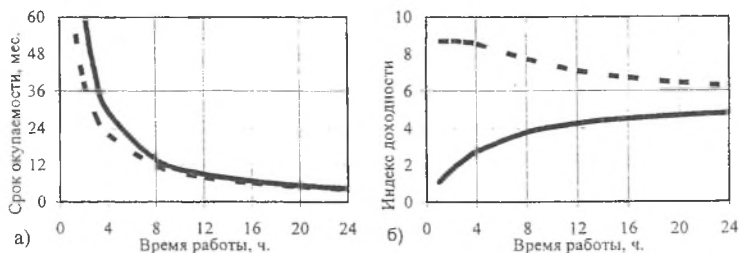


Рис. 1. Зависимости срока окупаемости и индекса доходности от времени работы источников света

На рис. 1. представлены зависимости срока окупаемости (рис. 1.а) и индекса доходности (рис. 1.б) от времени работы осветительных приборов. Из полученных зависимостей видно, что даже при работе осветительных приборов 1 час в сутки и учёте динамики роста цен на электроэнергию мероприятие по замене светильников окупается менее чем за 5 лет.

Таким образом, технически и экономически обоснованная замена светильников с лампами ЛБ на светодиодные светильники в основном помещении чулочного цеха ОАО «8 Марта» при двухсменном режиме работы даст экономию электроэнергии порядка 96 тыс. кВт·ч/год (19,5 млн. руб.) при сроке окупаемости порядка 8-9 месяцев и индексе доходности 4,5-6,5.

#### Литература

1. Компания «Профессионалы света» [Электронный ресурс]. – Москва 2007. – Режим доступа: [www.pro-light.ru](http://www.pro-light.ru) - Дата доступа: 27.08.2007.

2. Оценка эффективности энергосбережения за счёт внедрения энергосберегающих источников света в рыночных условиях функционирования / Ю.Н. Колесник А.В. Иванейчик // Вестник ГГТУ им. П.О.Сухого. – 2007. - №2. – С. 101-106.

3. Иванейчик А.В. Техничко-экономическая модель эффективности энергосбережения в рыночных условиях функционирования // Сборник тезисов выступлений на V МНТК молодых специалистов, инженеров и рабочих «Металл-2005». – Жлобин. – 2005. - с. 77-78.

4. Xendler - светодиодная продукция [Электронный ресурс]. – Москва 2007. – Режим доступа: <http://www.ledproducts.ru> - Дата доступа: 10.09.2007.

5. Национальный банк Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Минск 2000-2007. – Режим доступа: <http://www.nbrb.by>. - Дата доступа: 10.09.2007.

6. Методические рекомендации по составлению технико-экономических обоснований для энергосберегающих мероприятий: - Приложение к Информа-

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОКСИДОВ $\text{Bi}_2\text{O}_3$ И $\text{Fe}_2\text{O}_3$

Корзун Б.В., ОИФТТП НАН Б, г. Минск

Волчик Т.В., Соболев В.Р., БГАТУ, г. Минск

В настоящее время наблюдается возрастающий научный интерес к сегнетомагнетикам, или в современной терминологии, мультиферроикам, в которых сосуществует магнитное и электрическое упорядочение [1, 2]. Это позволяет создавать на основе одного и того же материала устройства, преобразующие информацию в форме намагниченности в электрическое напряжение и обратно.

Одним из наиболее исследуемых магнитоэлектрических материалов является феррит висмута  $\text{BiFeO}_3$  [3], что обусловлено присущими для него высокими температурами магнитного ( $T_N = 643 \text{ K}$ ) и электрического ( $T_C = 1083 \text{ K}$ ) упорядочений, а также наличием гигантского магнитоэлектрического эффекта [4]. Для получения  $\text{BiFeO}_3$  разработан ряд достаточно сложных методик (твердофазный синтез из оксидов  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  и  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , синтез с использованием солевых матриц), тем не менее для всех методик остро стоит проблема получения однофазного материала, одной из причин чего может быть наличие целого ряда полиморфных превращений и аномалий в оксиде висмута  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  [5].

Настоящая работа посвящена исследованию взаимодействия оксида висмута (III)  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  и оксида железа (III)  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  с помощью рентгенофазового (РФА) и дифференциально-термического анализов (ДТА).

$\text{Bi}_2\text{O}_3$  марки ХЧ и  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  марки ОСЧ смешивали и подвергали сухому помолу в течение 1 часа в яшмовых ступках. Полученную смесь загружали в кварцевые сосудики и производили ДТА на воздухе, используя многократное термоциклирование. РФА исходных компонентов показал, что  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  марки ХЧ сосуществует в 2 полиморфных модификациях – моноклинной с параметрами решетки, хорошо соответствующими данным [6] и гексагональной с параметрами решетки, хорошо соответствующими данным [7].

На рис. 1 приведена термограмма образца  $\text{Vi}_2\text{O}_3$  при его термодуцировании до температур, незначительно превышающих температуры полиморфных превращений и плавления. Тепловой эффект А может быть связан с ХЧ полиморфным превращением из метастабильной гексагональной в устойчивую моноклинную структуру и носит обратимый характер.

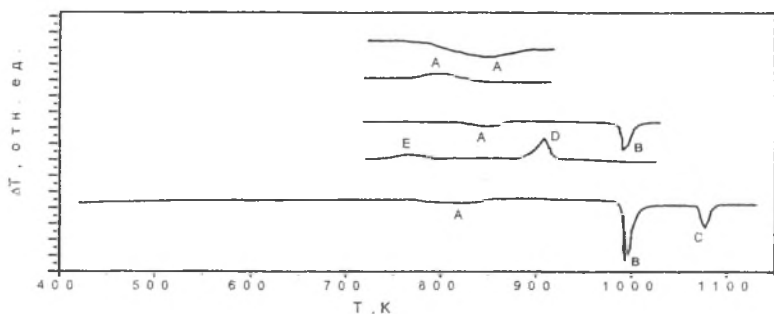


Рис. 1. Термограммы (верхние кривые – нагрев, нижние кривые - охлаждение)  $\text{Vi}_2\text{O}_3$  марки ХЧ

При нагреве тепловой эффект В с температурой окончания 990 К обусловлен переходом из моноклинной структуры в кубическую структуру, а плавление (тепловой пик С) осуществляется при 1100 К. При охлаждении наблюдаются тепловые пики С (кристаллизация), D и E. Учитывая, что РФА при комнатной температуре порошка  $\text{Vi}_2\text{O}_3$  марки ХЧ после плавления на воздухе и последующего охлаждения со скоростью 200 К/ч показал, что он сосуществует в 2 полиморфных модификациях – кубической с параметрами, близкими к [8] и кубической с параметрами, близкими к [9], можно предположить, что эффект D вызывается переходом из кубической ( $\gamma\text{-Vi}_2\text{O}_3$ ) структуры в тетрагональную, а эффект E – переходом тетрагональной модификации в кубическую. Такое поведение соединения  $\text{Vi}_2\text{O}_3$  может быть объяснено тем обстоятельством, что некоторые его полиморфные превращения сопровождаются выделением или поглощением кислорода и поэтому зависят от парциального давления  $\text{O}_2$ .

На рис. 2 представлена термограмма смеси состава  $0.5\text{Bi}_2\text{O}_3+0.5\text{Fe}_2\text{O}_3$ , находящейся на воздухе. Кроме тепловых эффектов А и В, обусловленных поли-

морфными превращениями  $\text{V}_2\text{O}_3$ , и его плавления С, наблюдаются экзотермические тепловые эффекты 1 и 2, указывающие на начало реакции образования тройных соединений в системе  $\text{V}_2\text{O}_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3$ . На основе РФА смеси, охлажденной до комнатной температуры, можно сделать вывод, что для получения гомогенных образцов твердофазный синтез необходимо проводить, во-первых, в несколько стадий, а во-вторых, с учетом происходящих в оксиде висмута (III)  $\text{V}_2\text{O}_3$  полиморфных превращений.

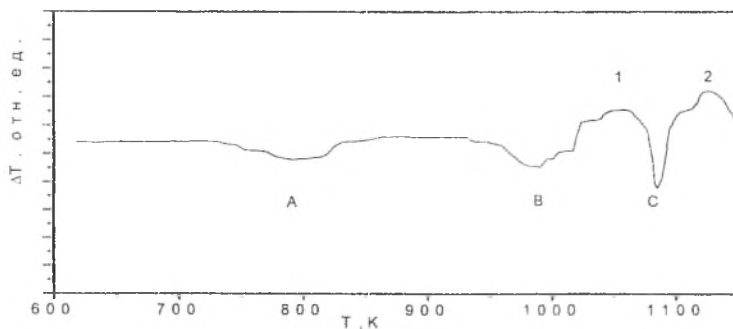


Рис. 2. Термограмма (кривая нагрева) смеси состава  $0.5\text{V}_2\text{O}_3+0.5\text{Fe}_2\text{O}_3$ , находящейся на воздухе

#### Литература

1. А.К. Звездин, А.П. Пятаков, УФН, **174**, 4, 465 (2004).
2. W. Prellier, M.P. Singh, P. Murugavel, J. Phys.: Cond. Mat., **17**, R803 (2005).
3. M. Murakami, S. Fujino, S.-H. Kim, et al., Appl. Phys. Lett., **88**, 112505 (2006).
4. J. Wang, H. Zheng, V. Nagarajan, et al, Science, **299**, 1719 (2003).
5. В.Г. Орлов, А.А. Буш, С.А. Иванов, В.В. Журов, ФТТ, **39**, 5, 865 (1997).
6. ICDD. Card 71-0465.
7. ICDD. Card 51-1161.
8. ICDD. Card 74-1375.
9. ICDD. Card 45-1344.

## ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МОЛОЧНОЙ СЫВОРОТКИ ПРИ ЭЛЕКТРООБРАБОТКЕ

Кривовязенко Д.И., Дубодел И. Б., Орлова А.В.,

УО “Белорусский государственный аграрный технический университет”, г. Минск

Ежегодно в Беларуси производится около 900 тыс. тонн молочной сыворотки. Промышленной переработке подвергается не более 20%. Использование белка сыворотки могло бы дать народному хозяйству до 9 тыс. тонн высокоценного белка, снизить отрицательное воздействие сточных вод молочных предприятий на окружающую среду. Одним из перспективных способов выделения белка является электрокоагуляция. Реализация способа требует изучения физических характеристик молочной сыворотки.

В работе исследована молочная сыворотка с содержанием сухих веществ 6-7%, начальным рН 4,8 – 5, произведенная на разных перерабатывающих предприятиях Беларуси. Измерения проводили в специальных ячейках, наиболее соответствующих технологии обработки молочной сыворотки. Измерительная ячейка представляла собой камеру прямоугольной формы из диэлектрического материала с плоскопараллельными электродами из графита, разделенную полиамидной мембранной перегородкой. Удельную электрическую проводимость молочной сыворотки определяли при температуре 15...60 °С и напряженности электрического поля  $7,5 \cdot 10^2 \text{ В} \cdot \text{м}^{-1}$  с контролем рН среды. Экспериментальная установка состояла из автотрансформатора АОМН-40-220-75У4, измерительной ячейки, потенциометра ПП – 63 и кондуктометра DIST – 4. Диэлектрическую проводимость и тангенс угла диэлектрических потерь определяли диэлькометрическим методом с помощью измерителя иммитанса Е7 – 14 и Е7 – 12. Для измерения температуры использовали потенциометр ПП – 63; водородного показателя – рН-метр НН 8314. Теплопроводность находили с помощью измерителя теплопроводности ИТ – 2; теплоемкость определяли измерителем теплоемкости ИТ – С – 400, методом динамического С – калориметра.

Проводимость зависит от водородного показателя молочной сыворотки. В анодной и катодной зоне она снижается (рис. 1), это является, по нашему мнению, следствием протекания коагуляционных процессов и появления в сыворотке взвешенных частиц белка.

Зависимость изменения удельной электрической проводимости молочной сыворотки от  $pH$  получили по экспериментальным данным методом парного линейного регрессионного анализа [2]:

$$\gamma_{\text{рН}} = 0,0088 + 0,0253pH - 0,0019pH^2 . \quad [1]$$

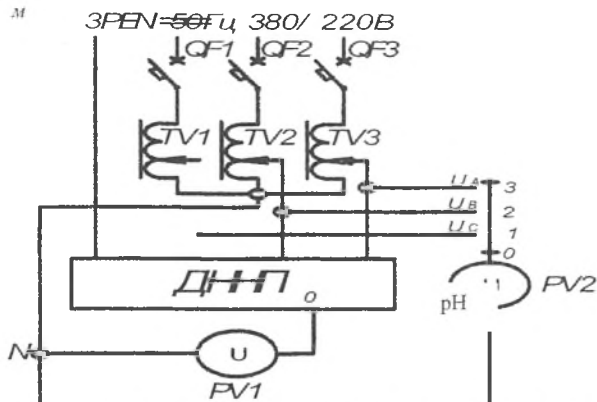


Рис. 1. зависимость проводимости молочной сыворотки от  $pH$ :

— экспериментальная, - - - - расчетная, - - - - исходный  $pH$ .

Диапазон изменения температуры, в котором исследовали диэлькометрические свойства, показан на рис. 2.

Наиболее вероятное значение удельной проводимости молочной сыворотки при  $20^{\circ}\text{C}$ ,  $\gamma_{20}=0,089\text{См/м}$ . Температурная характеристика удельной электрической проводимости сыворотки описывается общей зависимостью для проводников второго рода:

$$\gamma_t = 0,089[1 + 4 \cdot 10^{-3}(t - 20)]. \quad [2]$$

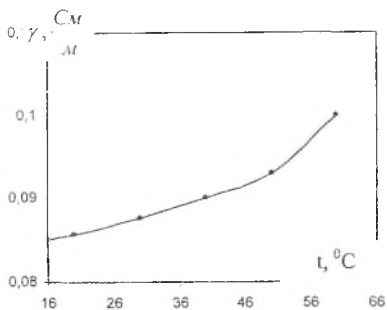
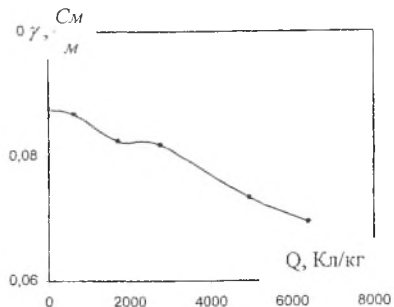


Рис. 2. Температурная характеристика удельной проводимости молочной сыворотки.



молочной сыворотки от количества электричества

С увеличением количества электричества, пропущенного через сыворотку, проводимость снижается в результате изменения рН (рис. 3).

Для определения диэлектрической проницаемости  $\epsilon$  и тангенса угла диэлектрических потерь  $\operatorname{tg} \delta$  принят диэлькометрический метод. Изменение диэлькометрических свойств в процессе изменения частоты показано в табл. 1.

Диэлектрическая проницаемость молочной сыворотки увеличивается с ростом частоты электрического поля (таблица 1) под действием поляризационных явлений [1].

### 1. Изменение параметров диэлькометрических характеристик сыворотки

Содержание в сыворотке белков, %	Измеряемый параметр	Частота, кГц			
		0,1	1	10	1000
2	$\epsilon$	61,7	45	11,2	39,76
	$\operatorname{tg} \delta \cdot 10^{-3}$	5	557,8	55,8	53
4	$\epsilon$	12,08	5,76	1,73	12,16
	$\operatorname{tg} \delta \cdot 10^{-3}$	675,5	186,9	39	44

Резкое снижение  $\epsilon$  на частоте 10 кГц объясняется краевым эффектом на электродах ячейки.

Теплопроводность определяли методом монотонного разогрева образца внешним односторонним проходящим тепловым потоком  $\lambda=0,627$  Вт/м $^{\circ}$ С.

Удельную теплоемкость определяли методом динамического С-калориметра  $C=4124 \text{ Дж/кг}\cdot\text{С}$ .

Заключение:

1. Удельная электрическая проводимость молочной сыворотки при  $20 \text{ }^{\circ}\text{С}$  составляет  $0,089 \text{ См}\cdot\text{м}^{-1}$ , изменяется в зависимости от места производства на 6%, температуры - 15-20 %. Зависимость удельной электрической проводимости от pH определяется формулой [1]. Удельная теплопроводность и теплоемкость составляют соответственно  $0,627 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$  и  $4124 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$ . Изменение диэлектрических свойств показано в таблице 1.

2. Исследованные кондукто - и диэлектрических свойства молочной сыворотки позволяют классифицировать ее как проводник второго рода.

3. Полученные результаты исследования физических свойств сыворотки позволяют описать механизм воздействия электрического тока на коагуляцию белка, обосновать конструкцию установки.

Литература

1. Надь Ш.Б. Диэлектрометрия. - М.: Энергия, 1976. - 200с.
2. Львовский Е.Н. Статистические методы построения эмпирических формул: Учеб. пособие. - М.: Высшая школа, 1982. - 224с.
3. Гинзбург А.С., Громов М.А., Красовская Г.И. Теплофизические характеристики пищевых продуктов: Справочник.- М.: Агропромиздат, 1990. - 287с.

## **ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ СТОЧНЫХ ВОД МАШИННЫХ ДВОРОВ ПРОДУКТАМИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ**

Крутов А.В., Бойко М.А.,

УО “Белорусский государственный аграрный технический университет”, г. Минск

Одним из наиболее распространенных и опасных загрязнителей водных ресурсов являются нефтепродукты. Этому способствует широкое использование нефти и ее продуктов в различных отраслях экономики, в том числе и в

сельском хозяйстве. К примеру, в сточных водах машинных дворов сельскохозяйственных организаций установлено содержание нефтепродуктов от 200 до 350 мг/л, взвешенных веществ от 2300 до 3300 мг/л. Динамика изменения содержания нефтепродуктов в сточных водах не одинакова в течение года. Это объясняется, прежде всего, различной интенсивностью использования техники по сезонам сельскохозяйственных работ. Наибольшее содержание нефтепродуктов (330-500 мг/л) отмечается в июле-августе и наименьшее (120-180 мг/л) – в декабре-феврале.

Анализ состава сточных вод наружных постов мойки показывает, что в них содержится песок, остатки растительности, различные механические примеси, загрязнённые нефтепродуктами, смытые с поверхности оборудования, агрегатов протёкшие масло, топливо, охлаждающая жидкость, смазочные материалы. В отдельных случаях дополнительно к вышперечисленным загрязнениям в сточных водах могут присутствовать смытые с оборудования сельскохозяйственных машин минеральные удобрения, ядохимикаты, микроорганизмы и микробные токсины, и другие нежелательные компоненты.

Чтобы избежать загрязнения окружающей среды, необходимо обеспечить качественную очистку сточных вод, утилизацию нефтепродуктов, нейтрализацию химикатов, уничтожение бактерицидной микрофлоры. Эти задачи могут быть решены применением замкнутой системы водоснабжения очистных установок и обработки сточных вод методом электрохимической активации.

В настоящее время реализуется ряд технических решений и схем оборотного водоиспользования с применением различных систем очистных сооружений. Однако в сельскохозяйственном производстве они практически не внедряются. Здесь требуется индивидуальная привязка проектов и необходимость учета разнообразного состава загрязнений сточных вод.

Опыты по обработке сточных вод, загрязненных бактерицидной микрофлорой, (мойки сельскохозяйственной техники, транспортировавшей органические удобрения), показали положительные результаты после их обеззаражива-

ния анолитом. Технологическая схема получения анолита и католита нами приводилась ранее. Электроактиватор представляет собой электрохимическую систему с катодом и анодом, в которой камера, заполняемая сточными водами, разделена на два объема (катодный и анодный) с помощью брезентовой перегородки. В анодной камере образуется анолит, в катодной – католит. В катодной камере вода приобретает щелочные свойства. Это происходит потому, что здесь образуются хорошо растворимые гидроксиды натрия и калия, повышается pH. В анодной камере кислотность воды увеличивается с образованием различных кислот, а также перекиси водорода. Анолит отличается более высокой электропроводностью. При анодной обработке вода насыщается высокоактивными окислителями (в том числе озоном, растворенным кислородом, хлором и др.). В присутствии этих окислителей происходит электрокаталитическое окисление органических примесей воды, их деструкция и уничтожение микроорганизмов. Это говорит о том, что анолит обладает бактерицидными свойствами. Подобные свойства анолита известны. Мы установили, что обеззараживание стоков от микроорганизмов (кишечной палочки) до нормы отмечается при их обработке анолитом с  $pH = 3$  в пропорции 1:1 со стоками. Коэффициент (количество кишечной палочки в 1 л воды) изменяется с 5000 и более до единиц.

Ранее в наших публикациях и материалах научно-технических конференций сообщалось о высокой степени нейтрализации электрохимическим способом нефтепродуктов, содержащихся в сточных водах постов мойки техники.

Электрохимический активированный раствор (анолит) при необходимости обеззараживания высоко патогенных сточных вод можно приготовить добавлением поваренной соли. При этом бактерицидные свойства анолита усиливаются за счет увеличения в нем активного хлора. Устойчивое обеззараживание отмечается при анолите с  $pH = 3$ , концентрации активного хлора 2...3 мг/л. Удельные энергозатраты на обеззараживание 1 м<sup>3</sup> стоков не превышают 20 Вт ч. С учетом замкнутых систем использования воды на моечные цели, характера загрязнения сточных вод работа электроактиватора регулируется с учетом по-

требности в анолите. В случаях отсутствия в стоках бактерицидных загрязнений, их электрохимическая обработка проводится без межэлектродной перегородки.

Выводы.

1. Очистка сточных вод машинных дворов сельскохозяйственных организаций предпочтительна применением метода электрохимической обработки с разделением катодной и анодной камер диафрагменной перегородкой. Для обеззараживания сточных вод от бактерицидной микрофлоры может использоваться продукт электрохимической активации – анолит с  $pH = 3$ , концентрацией в нем активного хлора 2...3 мг/л. Устойчивое обеззараживание сточных вод с колииндексом 5000-15000 достигается при смешивании их в равных объемах с анолитом.

2. Так как состав загрязнений сточных вод постов мойки меняется в течение года, зависит от сезонности работ сельскохозяйственной техники, электрохимическая обработка стоков должна быть дифференцирована с учетом этого, что позволит уменьшить энергетические затраты на очистку.

## **ВАКУУМНО-ПЛАЗМЕННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ УПРОЧНЕНИЯ ИНСТРУМЕНТА ПОКРЫТИЯМИ НА ОСНОВЕ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ НИТРИДОВ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ**

Кулешов А.К., БГУ, г. Минск

Соболь В.Р., Козик В.А., УО БГАТУ, г. Минск

**Введение.** Современные требования к эксплуатационным характеристикам твердосплавного инструмента такие как: увеличение времени работы инструмента, повышения скорости резания, уменьшение энергопотребления на изготовление единицы продукции ставят актуальной задачей поиска новых упрочняющих инструмент покрытий на основе многокомпонентных нитридных систем образующих твердые растворы друг с другом или покрытий представляющих комбинацию фаз металлов и твердых фаз нитридов металлов [1,2]. Наибо-

лее перспективными являются композитные системы из нитридных фаз с включениями металлов формируемые с помощью вакуумно-дугового осаждения плазменного потока металла в атмосфере азота. Вариация концентрации металлической компоненты позволяет в широких пределах изменять внутренние механические напряжения в покрытиях на основе нитридов металлов, их адгезию и износостойкость [3,4].

Целью данной работы являлось установление взаимосвязи между твердостью, износостойкостью и формируемым фазовым и элементным составом вакуумно-плазменных покрытий на твердом сплаве Т15К6 синтезированных методом конденсации из плазменной фазы в остаточной атмосфере азота при совмещении плазменных потоков металлов (Zr и Mo) и (Cr и Mo), (Ti и Cr) и (Zr и Ti).

**Методика эксперимента.** Покрытия формировались на твердом сплаве с помощью конденсации атомов металла из плазменной фазы катодной дуги с использованием плазменных потоков одного или одновременно двух металлов в атмосфере азота  $10^{-1}$  Па при токах горения металлических катодов 100 А (Ti, Cr, Zr) и 150 А (Mo). Толщины покрытий не превышала 5 мкм.

Фазовый состав сформированных покрытий исследовался при помощи дифрактометра ДРОН 4.0 в геометрии Брегга-Брентано. Элементный состав определялся методом рентгеноспектрального анализа на растровом электронном микроскопе LEO 1455 VP. Измерения твердости методом Виккерса проводилось на микротвердомере ПМТ-3 путем вдавливания алмазной пирамидки при нагрузках 1-2 Н. Во время производственных испытаний оценивалось количество деталей обработанных одной гранью резца до выхода его из строя при получистовой и чистовой обработке деталей из Ст.3 на токарных станках 16А20 с ЧПУ.

**Результаты и обсуждение.** При одновременном использовании плазменных потоков двух металлов Zr и Mo происходит, как это следует из представленных на (рис.1 а) данных рентгеноструктурного анализа, формирование одной фазы - твердого раствора (Zr,Mo)N имеющего г.ц.к. структуру. Подтверждением формирования фазы твердого раствора является положение дифрак-

ционного максимума новой фазы лежащего между дифракционными пиками соответствующих нитридов металлов ZrN и Mo<sub>2</sub>N (см. рис.1 а). Из данных рентгеноспектрального микроанализа следует, что твердый раствор имеет состав (Zr<sub>52</sub>Mo<sub>48</sub>)N.

При получении покрытий на основе системы Cr-Mo-N (рис.1 а) происходит формирование нескольких фаз - твердого раствора (Cr, Mo)N с кубической структурой, имеющего текстуру (220) характерную для CrN, а также Cr и Mo. Концентрации Cr и Mo в растворе составляют значения 61 и 39

% соответственно. Применение плазменных потоков металлов Ti и Zr позволяет получить покрытие на основе одной фазы - твердого раствора (Ti<sub>72</sub>Zr<sub>28</sub>)N с кубической структурой, имеющей текстуру (111) (рис.1 б). В случае Ti и Cr образуется двухфазная система: твердый раствор (Ti,Cr)N с текстурой (200) и Cr (рис.1 б).

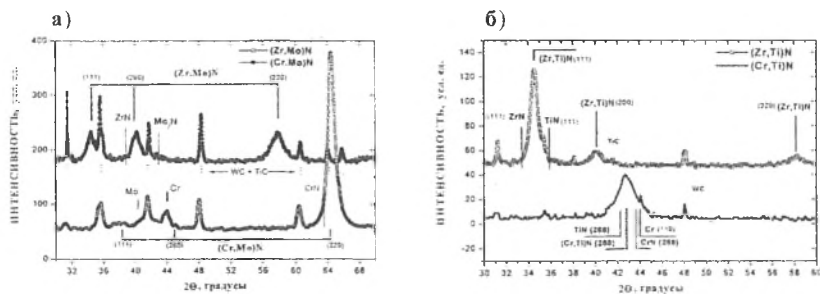


Рис. 1. Участки рентгенограмм покрытий на твердом сплаве Т15К6, сформированных совмещением плазменных потоков металлов (а) - Zr и Mo, Cr и Mo (б) – Zr и Ti, Cr и Ti в атмосфере азота

Результаты измерения твердости всех типов покрытий, полученных на сплаве Т15К6, представлены на рис.2 а. Однофазные твердые растворы (Zr<sub>52</sub>Mo<sub>48</sub>)N и (Ti<sub>72</sub>Zr<sub>28</sub>)N обладают наибольшей твердостью превышающей твердость соответствующих одинарных нитридов ZrN, TiN, Mo<sub>2</sub>N. Твердость

покрытий состоящих из фаз нитрида и металлов:  $(Cr,Mo)N + Cr$  и  $(Ti,Cr)N + Cr$  не превышает твердости нитридов  $Mo_2N$  или  $TiN$ .

Результаты производственных испытаний различных типов покрытий на твердом сплаве представлены на рис.2 б. Во время производственных испытаний оценивалось количество деталей обработанных одной гранью резца до выхода его из строя при полустивовой и чистовой обработке деталей из Ст.3 на токарных станках 16A20 с ЧПУ. Износостойкость в производственных условиях режущего инструмента с покрытиями на основе твердых растворов нитридов металлов  $(Cr,Ti)N$  и  $(Ti,Zr)N$  превышает максимальную стойкость инструмента с одинарными нитридными покрытиями в 1,3-1.5 раза.

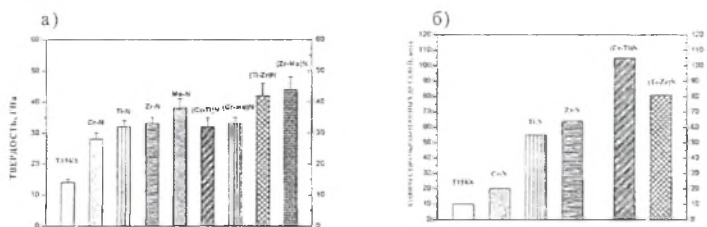


Рис. 2. Твердость (а) и результаты производственных испытания (б) инструмента Т15К6 с покрытиями на основе одинарных и двойных нитридов металлов Cr, Ti, Zr, Mo, сформированных методом КИБ на твердом сплаве Т15К6.

**Заключение:** Совмещение ионно-плазменных потоков двух металлов (Zr и Mo), (Cr и Mo), (Ti и Cr), (Ti и Zr) в остаточной атмосфере азота позволяет формировать твердые растворы на основе соответствующих нитридов металлов:  $(Zr_{52}Mo_{48})N$ ,  $(Cr,Mo)N$ ,  $(Ti,Cr)N$  и  $(Ti_{72}Zr_{28})N$ . Износостойкость режущего инструмента с покрытиями из твердых растворов нитридов металлов  $(Cr,Ti)N$  и  $(Ti,Zr)N$  превышает максимальную стойкость инструмента с одинарными нитридными покрытиями  $TiN$ ,  $ZrN$  в 1,3-1.5 раза.

Литература

1. Верещака А.С., Третьяков И.П. Режущие инструменты с износостойкими покрытиями. -М.: Машиностроение, 1986. - с.192.

2. Мрочек Ж.А., Вершина А.К., Ивашенко С.А. Плазменно-вакуумные покрытия - Мн., - 2004 – 368 с.-

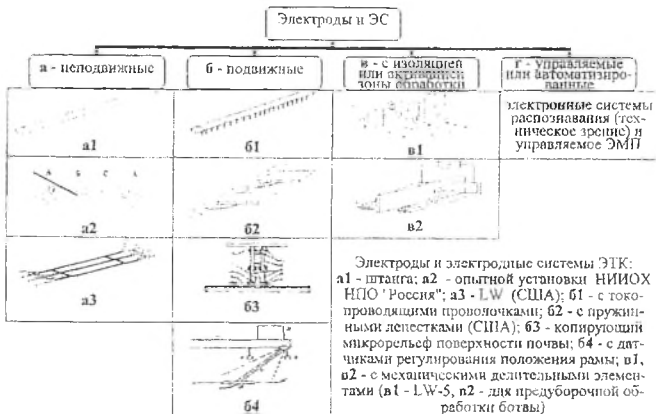
3. Uglov V.V., Anishchik V.M., Zlotski S.V., Abadias G., Dub S.N. // Surface and Coatings Technology, 2005, Vol. 200, Issues 1-4. P. 178-181.

4. Holleck H. Binäre und ternäre carbide- und nitridsysteme der übergangsmetalle, Gebrüder Borntraeger Berlin, 1984, 318 p.

## **ГЕОМЕТРИЯ И СОПРОТИВЛЕНИЕ СИСТЕМЫ "ЭЛЕКТРОД-ПОЧВА" ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КУЛЬТИВАТОРА**

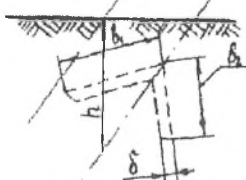
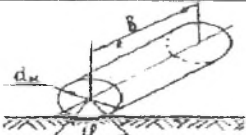
Ляпин В.Г., ФГОУ ВПО НГАУ, г. Новосибирск

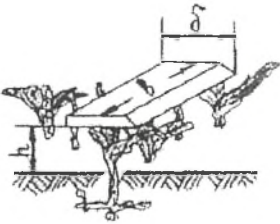
Электрическое повреждение сорных растений реализуется электротехнологическими культиваторами (ЭТК), рабочим органом которых является электродная система (ЭС). В качестве примера на рисунке приведена одна из классификаций электродов и ЭС ЭТК. Проанализировав ЭС с точки зрения химии и электротехнологии, следует отнести к их параметрам следующие признаки: число фаз; форма, размеры, число и материал электродов; расположение электродов и расстояние между ними; электрическая схема соединения. Материал электродов является источником создания электронов и ионов в межэлектродном промежутке (МЭП). Определяющими для ЭС ЭТК являются вольтамперные характеристики, улучшение которых обусловлено рациональным выбором соотношений геометрии ЭС, их массогабаритных показателей.



Исследование электродов и ЭС ЭТК представляет определенную сложность, поскольку требуется достоверная информация о параметрах каждого электрода в отдельности, чтобы характеризовать систему в целом. Известно, что электрическое сопротивление между электродом и почвой  $R_{эл}$  зависит от множества факторов: формы и геометрических размеров электрода, его местоположения относительно поверхности почвы, сопротивления почвы электрическому току. Приведенные ниже формулы для вычисления сопротивления системы "электрод-почва" показывают, что увеличение площади контакта электрода с почвой, его углубление приводят к снижению  $R_{эл}$ .

Геометрия и сопротивление системы "электрод-почва"

Форма	Формула сопротивления	Геометрия
Полоса в почве	$R_{эл} = \rho_n \ln(2b^2/\delta h)/2\pi b$ , где $\rho_n$ - удельное сопротивление почвы; $b = b_1 + b_2$ - общая длина кромки; $\delta$ - средняя ширина полосы; $h$ - глубина залегания (хода) полосы в почве	
Полоса на поверхности почвы	При $h = 0$ $R_{эл} = \rho_n \ln(4b/\delta)/\pi b$	
Каток на поверхности почвы	При $\varphi = \pi$ $R_{эл} = \rho_n \ln(2b/d_k)/\pi b$ , где $d_k$ - диаметр катка. При $\varphi \ll \pi$ $R_{эл} = \rho_n \ln(4b/\delta)/\pi b$ , где $\delta = d_k \varphi/2$ ; $\varphi$ - центральный угол в радианах	

<p>Полоса над поверхностью почвы</p>	<p><math>\frac{I}{R} = \sum_{i=1}^n \frac{I}{R_{pi}}</math>, где <math>R_{pi}</math> - сопротивление <math>i</math>-го растения в системе "электрод-почва"; <math>n</math> - число растений (ветвей) в цепи "электрод-почва".  <math>R_{pi} = R_{poi} + R_{cni}</math>, где <math>R_{poi}</math> - сопротивление ткани корневой системы <math>i</math>-го растения растеканию тока в почву; <math>R_{cni} = 4\rho_m l_{cni} / \pi d_{cni}^2</math> (<math>\rho_m</math> - удельное сопротивление ткани; <math>l_{cni}</math> - длина стебля <math>i</math>-го растения в цепи "электрод-почва"; <math>d_{cni}</math> - диаметр ткани стебля <math>i</math>-го растения).          При <math>R_{poi}, d_{cni}, h = \text{const}</math> и <math>n = b\delta Z_c</math>  <math>R_{ЭП} = (R_{po} + 4\rho_m h / \pi d_{cm}^2) l_{cm} / b\delta Z_c</math>, где <math>Z_c</math> - засоренность. При <math>h = 0</math> <math>R_{ЭП} = R_{po} / b\delta Z_c</math></p>	
--------------------------------------	--	---

Для электродов ЭТК используют стержни, трубы, цилиндры, диски, имеющие в зависимости от условий электрокультивации некоторые конструктивные особенности. Рабочая поверхность электрода может быть выполнена гладкой, с пазами, с отверстиями малого диаметра, без покрытия и с ним. Материалом электрода являются углеродистая сталь, графит, медь, алюминий и сложные композиции на вольфрамоникелевой основе. В выполнении электродами функций определенную роль играют внутренние звенья ЭС (токоподводы, различного рода концентраторы ЭМП, металлические кольца, специальные экраны, катушки, замкнутые накоротко или на емкостный элемент и т.д.), на которых смонтированы электроды. Электроды и внутренние звенья ЭС представляют собой электродный узел, а основные характеристики и параметры электродов определяют их целевую применимость.

Электроды и ЭС ЭТК подвержены ударам, вибрациям и воздействию электрической дуги, а контактная область - к изнашиванию при электрокультивации. Пыль и коррозионно-активные агенты воздуха создают условия для коррозии токоподводов, в результате чего уменьшается их прочность и увеличивается  $R_{ЭП}$ . Наибольшему разрушению подвержены стальные электроды. Коррозия биметаллических электродов начинается в местах, где медная оболочка имеет повреждения или малую толщину.

Электроды ЭТК должны обеспечивать эффективное электрическое повреждение растений во всем диапазоне рабочих режимов, максимальную производительность при электрокультивации и минимальный износ токоподводов. Износ электродов зависит от обрабатываемого агрофитоценоза, вибрации, материалов токоподводов, параметров режима электрокультивации, свойств МЭП и сказывается на качестве электрокультивации, т.к. изменение геометрии и переходного сопротивления контактной области электродов вследствие модификации поверхностных слоев приводит к снижению параметров ее качества.

## ТОКИ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КУЛЬТИВАТОРА

Ляпин В.Г., ФГОУ ВПО НГАУ, г. Новосибирск

Для электротехнологического культиватора (ЭТК) как объекта исследования, характеризующегося сложными физическими процессами [1], целесообразно использовать универсальные, отработанные для других объектов, методы моделирования, позволяющие сократить объем трудоемкого, длительного и дорогостоящего эксперимента, но корректно учитывая специфические особенности растений и почвы. В связи с этим данная работа посвящена численному исследованию токов при электрокультивации. При решении теоретических и практических задач электрокультивации можно рассматривать электромагнитные поля (ЭМП), характеристики которых изменяются во времени гармонически, причем компоненты всех векторных величин по пространственным осям являются синусоидальными функциями времени. Математические соотношения в [2] получены с учетом ряда упрощающих допущений, касающихся в основном свойств физической среды в межэлектродном промежутке (МЭП). Для практических задач анализа ЭМП некоторыми величинами можно пренебречь и рассматривать растительные ткани и почву как чисто резистивные (рис. 1, 2).

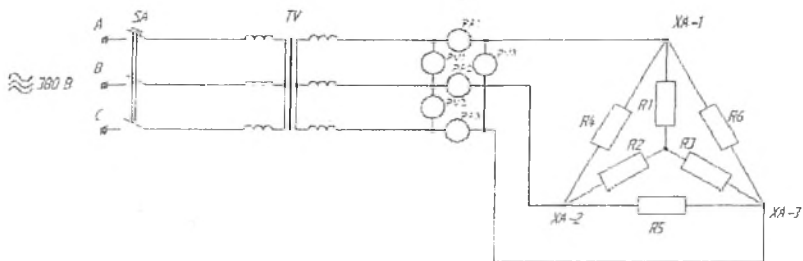


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема физической модели ЭТК: XA-1, XA-2, XA-3 - электроды; R1, R2, R3 - сопротивления тканей и почвы от нейтральной зоны до электродов; R4, R5, R6 - сопротивления тканей и почвы между электродами; TV- трёхфазный трансформатор 0,38/10 кВ; SA - автоматический выключатель; PA1, PA2, PA3 - амперметры; PV1,

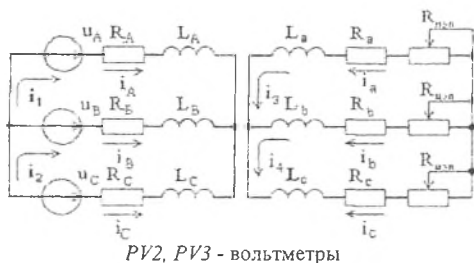


Рис. 2. Схема распределения токов в электрооборудовании и МЭП ЭТК

Проведенный анализ в [2] показывает, что при исследовании ЭМП биологических объектов в МЭП в дифференциальных уравнениях Максвелла и уравнениях для потенциалов члены с производными по времени оказывают несущественное влияние на характеристики поля, поэтому при решении прикладных задач ими можно пренебречь. Это означает переход к так называемым квазистатическим условиям, или к электродинамике стационарных токов. Все дальнейшие рассмотрения будут проведены на основе соотношений электродинамики стационарных токов. Дифференциальные уравнения математической модели составлены по методу контурных токов для междуфазных напряжений. Это позволяет получать непосредственно токи в МЭП при несимметрии на-

пряжения питания. В соответствии с рис. 2 дифференциальные уравнения по методу контурных токов для между фазных напряжений имеют вид:

$$\left. \begin{aligned} u_{AB} &= (R_A + R_B)i_1 - R_B i_2 + d\psi_1 / dt \\ u_{BC} &= (R_B + R_C)i_2 - R_B i_1 + d\psi_2 / dt \\ 0 &= (R_a + R_b + 2R_{МЭП})i_3 - (R_b + R_{МЭП})i_4 + d\psi_3 / dt \\ 0 &= (R_b + R_c + 2R_{МЭП})i_4 - (R_b + R_{МЭП})i_3 + d\psi_4 / dt \end{aligned} \right\} ,$$

где  $u_{AB}$ ,  $u_{BC}$  - мгновенные значения линейных напряжений;  $i_1 - i_4$  - токи контуров, причем  $i_1 = i_A$ ,  $i_2 = -i_C$ ,  $i_3 = i_a$ ,  $i_4 = -i_c$ ;  $R_A$ ,  $R_B$ ,  $R_C$  и  $R_a$ ,  $R_b$ ,  $R_c$  - активные сопротивления фаз первичной и вторичной обмоток трансформатора;  $\psi_1 - \psi_4$  - результирующие потокоцепления контуров;  $R_{МЭП}$  - сопротивления МЭП.

Эти уравнения позволяют моделировать эксплуатационные и аварийные режимы работы ЭТК. При моделировании начального (переходного) режима работы, ток в  $i$ -ом контуре определяется как сумма токов  $i_{ni}$  периодической (принужденной) и  $i_{ni}$  аperiodической (свободной) составляющих,  $i_i = i_{ni} + i_{ni}$ . Периодическая составляющая  $i$ -го тока во временном интервале ищется в виде частного решения системы неоднородных уравнений, получаемой из вышеприведенной, где напряжения синусоидальны, а оператор дифференцирования  $d/dt$  заменен на  $j\omega$  [2]. Аperiodическую составляющую тока  $i_{ni}$  ищут в виде полного решения системы однородных дифференциальных уравнений, которую получают из вышеприведенной, приняв в ней  $u_{AB} = u_{BC} = 0$  и  $di/dt = i'/t$ . Уравнения преобразуют так, чтобы в левой их части находились падения напряжения на активных сопротивлениях и решают методом последовательных интервалов.

Приведенные выше уравнения справедливы для источника ЭМП любой структуры и любой конфигурации электродной системы ЭТК, т.е. на генератор ЭМП в виде векторного поля объемной плотности стороннего тока  $\vec{\delta}_{cm}$  не были наложены какие-либо существенные ограничения. При этом, как показывают

уравнения [2], в однородной среде электрическое и магнитное поля определяются возбудителями ЭМП генератора двух видов - источниками ( $div \vec{\delta}$ ) и вихрями ( $rot \vec{\delta}$ ) соответственно, которые являются математически независимыми. При решении практических (инженерных) задач, используются идеализированные конфигурации (структуры) источника ЭМП, его возбудителей и полной плотности тока, облегчающие математическое описание конкретных объектов исследуемой электротехнической системы. К таким конфигурациям относятся поверхностно распределенные (поверхностные), линейно распределенные (линейные) и точечные электроды (генераторы или возбудители ЭМП).

#### Литература

[1] Ляпин В.Г. Оборудование и энергосберегающая электротехнология борьбы с нежелательной растительностью/Новосиб. гос. аграр. ун-т. - Новосибирск, 2000. - 106 с.

[2] Ляпин В.Г., Инкин А.И. Модельный подход описания растения в электротехнологиях//Аграрная энергетика в XXI столетии. Материалы III Международной научно-технической конференции (Минск, 21-23 ноября 2005 г.)/Под ред. В.И. Русана. - Мн.: Типография РУП "Институт энергетика АПК, НАН Беларуси", 2005. - С. 178-182.

## **ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СВЕРХПРОВОДЯЩИЕ СВОЙСТВА ЭВТЕКТОИДНОГО ЦИРКОНИЙ- ВАНАДИЕВОГО СПЛАВА**

Малишевский В.Ф., БГАТУ, г. Минск

Добрянский В.М., БГПУ имени М. Танка, г. Минск

Чобот Г.М., БГАТУ, г. Минск

Прогресс развития науки и техники, в том числе и энергетики, связан с внедрением новых материалов, обладающих уникальными свойствами. К таким материалам относятся низкотемпературные и высокотемпературные сверхпро-

водники. Критические параметры сверхпроводящих материалов зависят от многих факторов. К их числу принадлежат структура и фазовый состав. Существующие закономерности этих зависимостей во многом схожи, как для сплавов и соединений переходных металлов, так и для высокотемпературных сверхпроводящих материалов.

В системе цирконий-ванадий  $\alpha$ - и  $\beta$ -фазы циркония и соединение  $ZrV_2$  находятся в невариантном твердофазном равновесии, соответствующем эвтектоидной точке. Существующие в литературе сведения о температуре и о концентрационном положении эвтектоидной точки заметно различаются. Согласно проведенным нами исследованиям эвтектоидный состав лежит в пределах 6,9 7,3 ат.% (4,0 4,2 вес.%) ванадия при температуре 1050 К.

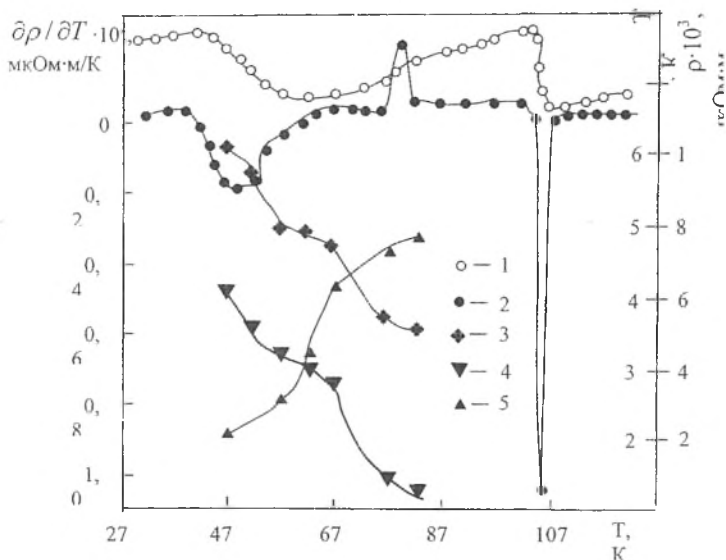
В качестве объекта служил Zr-V- сплав по составу близкий к эвтектоидному и содержащий 8,6 ат.% (5,0 вес.%) ванадия. В работе изучено влияние закалки и различных режимов отпуска закаленного сплава на его сверхпроводящие свойства.

Сплав готовился в электронно-лучевой печи, а из полученного слитка вырезались образцы параллелепипедной формы размером  $1,5 \times 1,5 \times 20$  мм<sup>3</sup>. Закалка проводилась с1443 К, нагрев при этом проводился в кварцевых ампулах, наполненных аргоном. Выбор температуры закалки определялся на основании результатов предварительно проведенных экспериментов. Изотермический отпуск закаленных образцов исследуемого сплава при температуре 500-700 К осуществлялся в масле. При более высоких температурах образцы отпускались в специальной кварцевой ампуле с продуванием очищенного аргона в течение различного времени

Температура сверхпроводящего перехода определялась по одновременно изменению магнитной проницаемости и электрического сопротивления [1] в магнитных полях до 6 Тл.

Наряду с изотермическим отпуском был проведен ступенчатый отпуск закаленного образца. Один и тот же закаленный образец нагревался последовательно до заданной температуры в области от 473 К до 873 К степенями через 50 К. При температуре каждой ступени образец выдерживался в течение  $10^4$  с,

затем охлаждался. Производились измерения его удельного электросопротивления при 300 К и 77 К, определяли микротвердость и температуру начала и конца перехода в сверхпроводящее состояние, а так же величину остаточного удельного электросопротивления.



После проведения указанных измерений образец вновь нагревался до температуры следующей ступени. На рисунке приведена кривая (1) изменения удельного электросопротивления закаленного образца при температуре отпуска в процессе непрерывного нагрева. Как видно из приведенной кривой, можно указать на две стадии отпуска. В первой стадии в области 420-600 К происходит снижение  $\rho(T)$ , связанное с выделением метастабильных фаз. Во второй стадии отмечается излом в температурном ходе кривой  $\rho(T)$  и наличие ступени связанное, по-видимому, главным образом с выделением равновесной фазы  $ZrV_2$  и процессом рекристаллизации. Резкое снижение  $\rho(T)$  при 1050 К указывает на связь с эвтектоидным превращением. На дифференциальной кривой (2)

$\partial\rho/\partial T$  указанные стадии характеризуются отчетливо выраженными максимумами и минимумами.

Кривая (3) показывает изменение удельного электросопротивления при 300 К, а кривая (4) — остаточного удельного сопротивления образца, подвергнутого ступенчатому отпуску. Обе кривые подтверждают наличие двух стадий отпуска.

На кривой (5), показывающей изменение температуры сверхпроводящего перехода  $T_c$ , логично отметить участки замедленного повышения  $T_c$  в зависимости от температуры ступенчатого отпуска, соответствующие первой и второй стадиям.

#### Литература

1. Сирота Н.Н., Малишевский В.Ф. Изв. АН БССР, сер. физ.-техн. наук, №2, с. 118, 1977.

## РАСЧЕТ ГАЗООБРАЗОВАНИЯ В СЛОЕ

Марушко В.А.,

УО “Белорусский государственный аграрный технический университет”, г. Минск

Газообразование в слое имеет очень сложный характер вследствие весьма сложной гидродинамики потока в слое частиц. Горение на отдельных участках слоя аналогично горению в угольном канале, на других участках процесс горения может быть аналогичным процессу горения отдельной частицы. В слое вследствие искривлений, сужений и расширений каналов происходит срыв струй, образование застойных зон, лишенных кислорода. В отличие от угольного канала турбулентный характер течения в слое устанавливается значительно раньше — при  $Re \cong 40$  (число  $Re$  в данном случае вычисляется по среднему диаметру частицы и скорости фильтрации), тогда как для отдельной частицы срыв струи наступает при  $Re \cong 10$ .

Вследствие сложности аэродинамических условий газообразование в слое не однозначно в различных участках слоя и по времени, поэтому при исследо-

вании динамики газообразования имеют дело с усреднёнными характеристиками процесса.

В настоящее время имеется ряд теоретических решений задачи о газообразовании в слое. Однако все эти решения приближенные, так как в их основу кладется идеализированная модель слоя. Кроме того, все эти решения должны дополняться рядом эмпирических коэффициентов с тем, чтобы их можно было применять для инженерных расчетов.

### Уравнения расчета газообразования

Можно предложить следующую схему расчета газообразования на основе теории фильтрации. Для описания процесса реагирования дифференциальными уравнениями ими принята модель слоя, состоящая из прямых, параллельных угольных стержней, и процесс реагирования сводится к реагированию в угольных каналах. Процесс реагирования на воздушном дутье можно описать следующими дифференциальными уравнениями:

Для реакций  $2C + O_2 \rightleftharpoons 2CO$ ;  $2CO + O_2 \rightleftharpoons 2CO_2$ :

$$\frac{dc_1}{dx} = -\alpha_1 c_1 - \alpha_2 c_1; \quad (1)$$

$$\frac{dc_2}{dx} = \alpha_1 c_1 + \chi_1 c_3 - k_1 c_2; \quad (2)$$

$$\frac{dc_3}{dx} = \alpha_2 c_1 - \chi_1 c_3 + k_1 c_2, \quad (3)$$

где  $c_1, c_2, c_3$  — концентрации соответственно  $O_2, CO, CO_2$ ;

$\alpha_1, \alpha_2$  — константы скорости образования  $CO$  и  $CO_2$  при окислении углерода;

$\chi_1$  — константа скорости реакции восстановления  $CO_2$ ;

$k_1$  — константа скорости догорания  $CO$  на поверхности реагирования за счет адсорбированного кислорода, при этом объемное догорание окиси углерода исключается;

$x$  — высота слоя топлива.

Для реакции  $2H_2 + O_2 \rightleftharpoons 2H_2O$  можно записать:

$$\frac{dc_4}{dx} = -\alpha_3 c_4; \quad (4)$$

$$\frac{dc_5}{dx} = -\alpha_3 c_5 + \chi_2 c_6 - k_2 c_5; \quad (5)$$

$$\frac{dc_6}{dx} = \alpha_3 c_5 + \alpha_3 c_4 - \chi_2 c_6 + k_2 c_5, \quad (6)$$

где  $c_4, c_5, c_6$  — концентрации соответственно  $O_2, H_2, H_2O$ ;

$\alpha_3$  — константа скорости образования  $H_2O$  при окислении водорода;

$\chi_2$  — константа скорости реакции восстановления  $H_2O$ ;

$k_2$  — константа скорости догорания  $H_2$  на поверхности реагирования за счет адсорбированного кислорода, при этом объемное догорание водорода исключается;

$x$  — высота слоя топлива.

Для реакции  $CH_4 \rightleftharpoons C + 2H_2$  можно записать:

$$\frac{dc_7}{dx} = -\alpha_4 c_7 + \chi_3 c_8; \quad (7)$$

$$\frac{dc_8}{dx} = \alpha_4 c_7 - \chi_3 c_8, \quad (8)$$

где  $c_7, c_8$  — концентрации соответственно  $CH_4, H_2$ ;

$\alpha_4$  — константа скорости образования  $H_2$ ;

$\chi_3$  — константа скорости образования  $CH_4$ ;  $x$  — высота слоя топлива.

## ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА ДЕЛИГНИФИКАЦИИ СОЛОМЫ В ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ

Николаенок М.М., Пашинский В.А.,  
УО “Белорусский государственный аграрный технический университет”, г. Минск

Для нормального функционирования жвачных животных до 40% их кормового баланса должны занимать объемистые корма, среди которых можно выделить побочный продукт зернопроизводства – солому. В необработанном виде

(после обмолота зерна) солома имеет очень низкую кормовую ценность. Однако научными исследованиями и практическими результатами доказана возможность повышения усвоения соломы организмом жвачных животных после соответствующей ее обработки в 2...2,5 раза, приблизив ее, таким образом, к питательности сена среднего качества.

Как биологический объект, растительная ткань соломы состоит из отдельных клеточных элементов. Важнейшими компонентами химического состава клеточных стенок и межклеточного вещества являются целлюлоза, гемицеллюлозы и лигнин, в них также содержатся в небольшом количестве различные жиры, смолы, красящие вещества (табл. 1).

Табл. 1. Химический состав пшеничной соломы (в % к абсолютно сухой соломе)

Вид растительного сырья	Лигнин	Альфа-целлюлоза	Пентозаны	Прочие гемицеллюлозы	Спиртобензольный экстракт	Зола
Пшеничная солома	18	32	23	14	5,9	8,2

Гемицеллюлозы и пектиновые вещества сравнительно легко перевариваются животными, целлюлоза же разлагается только микроорганизмами, обитающими в их желудке. Молекулы же лигнина, благодаря пространственной сетчатой структуре и наличию большого количества реакционных связей, инкrustируют углеводы, что существенно затрудняет процесс их усвоения в организме животных. Для повышения кормовой ценности соломы необходимо обеспечить доступ ферменту целлюлазы, находящемуся в рубце жвачных животных, к клетчатке путем разрушения полимерной структуры лигнина (рис. 1). Деструкцию лигнина можно осуществить при щелочном воздействии путем увлажнения растительной ткани раствором химреакта. Химическая реакция между активными ионами  $\text{OH}^-$  и структурными единицами лигнина при этом приводят к разрушению по  $\alpha$ - и  $\beta$ -O-4 эфирным связям, образованию новых фенольных гидроксидов и уменьшению молекулярной массы лигнина.

Таким образом, химическое воздействие щелочного реакта на растительную ткань соломы приводит к окислению лигнина и разрушению его сложной по-

лимерной структуры, что в конечном итоге повышает ее кормовую ценность. Процесс деструкции лигнина, из-за наличия твердой (растительная ткань соломы) и жидкой (щелочной раствор) фаз, можно отнести к гетерогенным химическим реакциям. В химической технологии скорость таких реакций, моль/м<sup>3</sup>с, описывается уравнением

$$v = K(C^s - C^o)S_{yo}\delta \exp\left(-\frac{G}{RT}\right), \quad (1)$$

где  $K$  – константа скорости реакции, зависящая от физико-механических свойств реагирующих веществ, с<sup>-1</sup>;  $C^s$  – концентрация химически активных ионов OH<sup>-</sup> в плотной части двойного слоя у поверхности мембраны клетки, моль/м<sup>3</sup>;  $C^o$  – концентрация ионов в объеме раствора, моль/м<sup>3</sup>;  $S_{yo}$  – удельная площадь реакционной поверхности, м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>;  $\delta$  – толщина диффузного слоя, м;  $G$  – свободная энергия активации реакции, Дж/моль;  $R$  – универсальная газовая постоянная, Дж/Кмоль;  $T$  – температура реакционной среды,  $K$ .

Растительная ткань, помещенная в раствор химреагента, адсорбирует активные ионы в плотной части двойного слоя мембраны. Концентрация этих ионов при пропускании электрического тока будет определяться из выражения

$$C^s = C^o \pm \frac{Q\delta^2 \Delta n}{zFD_o \tau}, \quad (2)$$

где  $Q$  – удельное количество электричества, протекающее через органическую дисперсную гидросистему (ОГС), Кл/м<sup>3</sup>;  $\Delta n$  – разность чисел переноса ионов OH<sup>-</sup> в мембране клетки и растворе;  $F$  – число Фарадея, Кл/моль;  $D_o$  – коэффициент диффузии ионов OH<sup>-</sup> в растворе, м<sup>2</sup>/с;  $\tau$  – время обработки, с.

Для положительного направления тока уравнение (1) с учетом (2) можно записать в виде

$$v = KS_{yo} \frac{Q\delta^3 \Delta n}{zFD_o \tau} \exp\left(-\frac{G}{RT}\right). \quad (3)$$

Удельное количество электричества, протекающее через ОГС, определяется плотностью общего (измеряемого) тока

$$j = \gamma(T, \tau)E, \quad (4)$$

где  $\gamma(T, \tau)$  – удельная проводимость ОГС, См/м;  $E$  – напряженность электрического поля, В/м.

С учетом (4) уравнение (3) можно записать в виде

$$v = K S_{y\partial} \frac{\gamma(T, \tau) E \delta^3 \Delta n}{l F D_0} \exp\left(-\frac{G}{RT}\right), \quad (5)$$

где  $l$  – межэлектродное расстояние в электродной системе, м.

Температура ОГС определяется из уравнения теплопроводности

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\lambda}{\rho C} \Delta^2 T + \frac{\gamma(T) E^2}{\rho C} \quad (6)$$

с начальными условиями  $T|_{\tau=0} = T_0$

и граничными условиями  $\lambda|_r \Delta T = \alpha(T_g - T|_r)$ ,

где  $\lambda, \rho, C$  – теплопроводность, плотность и теплоемкость ОГС;  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи на границе;  $T_0$  – начальная температура материала;  $T_g$  – температура окружающей среды.

Таким образом, реакция делигнификации соломы определяется замещением активными ионами раствора одноименно фиксированных ионов растительной ткани в результате протекания фарадеевского тока, величина которого зависит не только от энергии активации и температуры, но также и от количества электричества, протекающего через обрабатываемую массу и определяемого напряженностью электрического поля, приложенного к электродам рабочей камеры.

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ БАЛАНС ЭЛЕКТРОГИДРОТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ФУРАЖНОГО ЗЕРНА

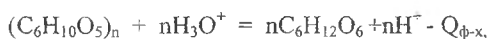
Пашинский В.А., Николаенок М.М.,

УО “Белорусский государственный аграрный технический университет”, г. Минск

Для повышения продуктивности животноводства важное значение имеют концентрированные корма. К группе концентрированных кормов относятся зерно, семена злаковых и бобовых растений. В 2007 году в Республике Беларусь произведено около 7 миллионов тонн зерна. На кормовые цели в настоя-

щее время расходуется около половины производимого в стране зерна. Большую кормовую ценность в зерне представляет крахмал и белок. При усвоении организмом животных они подвергаются сложному воздействию в пищеварительном тракте. Однако крахмал в естественном (нативном) состоянии плохо переваривается и усваивается организмом из-за кристаллического строения.

Учитывая низкую доступность питательных веществ в целом зерне оно требует определенной подготовки, как и другие корма. Для подготовки фуражного зерна к скармливанию существует около 50 различных способов, основанных на воздействии различных физических и химических факторов. Физико-химическая природа этих процессов сложна. При термических способах обработки зерна (экструдирование, микронизация гидротермическая) происходит превращение (деструкция, клейстеризация) высокомолекулярных полимеров (крахмала) в низкомолекулярные полисахариды. Разрушение гликозидных связей в макромолекуле крахмала происходит в результате воздействия высоких температур 373...450 К и наличии влаги. Это и является причиной высокой энергоемкости процессов. Реакция деструкции крахмала является эндотермической и протекает с поглощением энергии по схеме



где  $Q_{ф-х}$  – энергия расходуемая на деструктивные процессы, происходящие в зерновой массе.

В БГАТУ разработан способ обработки фуражного зерна, получивший название электрогидротермической обработки (ЭГТО). Сущность его заключается в том, что зерно увлажняют раствором хлорида натрия (NaCl), уплотняют и подают в электродную камеру, где подвергается электрогидротермическому воздействию электрического тока низкой частоты до температуры 353 К. Концентрация NaCl – 1% массы сухого вещества зерна. Электрический ток, как энергоноситель, выступает как комплексный технологический фактор, оказывающий термическое, электрофизикохимическое и биологическое воздействие на зерновую массу, существенно интенсифицирует процессы тепло- и массопереноса (влаги, ионов), повышает площадь реакционной поверхности, concentra-

цию активных ионов, благодаря чему снижается энергоёмкость и углубляется процесс клейстеризации крахмала (табл. 1).

1. Изменение углеводного комплекса зерна

Способ обработки фуража	зерно-	В 1 кг зерна влажностью 14% содержится, г			Степень клейстеризации крахмала, %
		Редуцирующие сахара	Сахароза	Декстрины	
Дробление на КДУ-2		26,1	10,2	22,9	00,00
Запаренное и плющенное на ПЗ-3,0		32,2	16,9	30,9	25,81
Экструдированное на КМЗ-2,0	на	34,7	14,4	34,6	27,85
Электрогидротермическая обработки		37,2	19,9	44,7	65,03

Результатом такого воздействия является изменение его свойств, определяющих его кормовую ценность, запаха и придает хорошие вкусовые качества. Физиологический опыт на романовских овцах показал, что коэффициент переваримости зерна после ЭГТО на 12,6 % больше, чем при гидротермической обработке, а энергоёмкость в 1,5...1,8 раза ниже и составляет до 80 кВт·ч/т. При этом стерилизующий эффект ЭГТО достигает 99% (табл. 2).

Производственную проверку эффективности ЭГТО неоднократно проводили на бычках черно-пестрой породы. Животные были подобраны аналогами по породе, полу, возрасту, массе, энергии роста. Кормили животных всех групп индивидуально. Результаты проверки показали (табл. 3), что среднесуточный прирост массы бычков поедавших зерно после ЭГТО выше на 17%, чем у группы животных поедавших дробленое зерно и 11%, чем для гидротермической обработки. Энергетический баланс ЭГТО зерновой массы имеет вид:

$$Q = Q_{н.м.} + Q_{ф-х} + Q_n + Q_a,$$

где  $Q_{н.м.}$  расход энергии на нагрев обрабатываемой массы, Дж;  $Q_{ф-х}$  расход энергии на физико-химические процессы в зерновой массе, Дж;  $Q_n$  расход энергии на испарение влаги, Дж;  $Q_a$  расход энергии на потери в окружающую среду, Дж.

## 2. Содержание микрофлоры в зерне, после различной обработке

Способ обработки фуражно-го зерна	Обсемененность микроорганизмами, тыс. шт/г зерна	
	Аэробные бактерии	Дрожжи и плесень
Дробление	3600,0	3,0
Запаренние	360,0	нет
Экструдирование	190,0	2,0
ЭГТО	125,5	0,2

## 3. Техничко-экономические показатели использования кормовом в рационе бычков фу- ражного зерна

Способ обработки зерно-фуража	Расход электро-энергии на обра-ботку 1т зерно-фуража, кВт·ч	Увеличение прироста мас-сы животных на 1 т скарм-ливаемого зернофуража,		Расход фу-ражного зер-на на 1 кг прироста жи-вой массы, кг
		кг	%	
Дробление на КДУ-2	16,0	-	-	2,66
Запаривание и плющение на ПЗ-3,0	96,7	16,8	6,1	2,50
Экструдирование на КМЗ-2,0	146,0	24,1	8,6	2,45
Электрогидротермическая обработка	112,0	50,4	17,7	2,40

Расход энергии на нагрев зерновой массы равен:

$$Q_{н.м.} = m \cdot C \cdot \theta,$$

где  $C$  средняя удельная теплоемкость зерновой массы в интервале тем-ператур обработки,  $C = 2,45$  кДж/кг · К;  $\theta = T_k - T_n$  превышение температуры над начальной, К;  $m$  масса зерна, кг.

Энергия, затрачиваемая на физико-химические процессы, происходящие в зерновой массе, равна:

$$Q_{ф-х} = E_c \cdot n,$$

где  $E_c$  энергия связи С-О крахмала, Дж;  $n$  количество связей-молей, подвергнутых воздействию иона  $H_3O^+$ .

Расход энергии на испарение влаги равен:  $Q_{и} = m_{и} \cdot (i_{п} - i_{в})$ ,

где  $m_{и}$  масса испаренной влаги, кг;  $i_{п}$ ,  $i_{в}$  энтальпия пара и воды при  $T_k$  и атмосферном давлении, Дж/кг.

Энергия, затрачиваемая на потери в окружающую среду, равна:

$$Q_{\alpha} = \alpha \cdot (T_{ст} - T_0) \cdot A \cdot \tau,$$

где  $\alpha$  коэффициент теплоотдачи на наружной поверхности рабочей каме-ры установки,  $\alpha = 50$  Вт · (м<sup>2</sup> · К);  $T_{ст}$  средняя температура стенки установки ЭГТО за расчетный период, К;  $T_0$  средняя температура окружающей среды за расчетный период, К;  $A$  поверхность теплообмена, м<sup>2</sup>;  $\tau$  время обработки.

Расход энергии на нагрев 1 тонны фуражного зерна равен:

$$Q_{н.м.} = 10^3 \cdot 2,45 \cdot (353 - 278) = 183750 \text{ кДж} = 51,0 \text{ кВт}\cdot\text{ч.}$$

Молекулярная масса крахмала равна 495500 а. е. м. [5], а молярная масса  $C_6H_{10}O_5$   $172 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{моль}^{-1}$ .

Находим количество молей в молекуле

$$n = 495500 : 172 = 2881 \text{ молей.}$$

В одной тонне зерна содержится 640 кг крахмала. В процессе гидролиза крахмала при ЭГТО образуется 11,1 кг редуцирующих сахаров, 9,7 кг сахарозы, 21,8 кг декстринов (табл. 1), что составляет 6,7% исходного количества крахмала. Количество молей-связей подвергнуто гидролизу:

$$X = \frac{2881 \cdot 6,7}{100} = 193 \text{ молей-связей.}$$

Гидролиз крахмала происходит по связи С О, энергия которой равна 314,25 кДж  $\cdot$  моль<sup>-1</sup>. Тогда энергия, затраченная на процесс гидролиза крахмала при обработке 1 тонны зерна, равна

$$Q_{ф-х} = 193 \cdot 314,25 = 60650,3 \text{ кДж} = 16,8 \text{ кВт}\cdot\text{ч.}$$

Расход энергии на испарение влаги

$$Q_{и} = 10 (2326 - 270) = 20560 \text{ кДж} = 5,7 \text{ кВт}\cdot\text{ч.}$$

Расход энергии на потери в окружающую среду для установки производительностью 1,0 т  $\cdot$  ч<sup>-1</sup>

$$Q_{а} = 50 \cdot (353 - 278) \cdot 0,75 \cdot 1 : 1000 = 2,8 \text{ кВт}\cdot\text{ч.}$$

Общий расход на обработку 1 тонны фуражного зерна составляет

$$Q = 51,0 + 16,8 + 5,7 + 2,8 = 76,3 \text{ кВт}\cdot\text{ч/т.}$$

Энергия, затрачиваемая на физико-химические процессы при ЭГТО, по сравнению с экструдированием и гидротермической обработкой, соответственно на 19,1 и 25,4 % больше. Однако коэффициент полезного использования (КПИ) энергии, затрачиваемой на эндотермическую реакцию гидролиза крахмала при ЭГТО, равен 21...22 %, тогда как при экструдировании и гидротермической обработке соответственно 10...11 % и 14...15 %.

Таким образом, при ЭГТО фуражного зерна электрический ток воздействует на корм как комплексный технологический фактор, повышающий КПИ

энергии, затрачиваемой на физико-химические процессы и снижающий энергоёмкость на обработку зерновой массы по сравнению с существующими технологиями на 15...35 %.

## ПРЕДПОСЕВНАЯ ОБРАБОТКА СЕМЯН В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

Пашинский В.А., Злобич В.Л.,

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск

Электростимуляция (предпосевная обработка) семян необходима для увеличения энергии их прорастания, всхожести, урожайности культур, устойчивости к неблагоприятным погодным условиям и сокращения вегетационного периода. При возбуждении семян усиливается деление клеток, повышается влагопоглощение и компенсируется недостаточное воздействие природных электрофизических факторов (солнечной радиации, температуры и т. д.).

Всхожесть является важнейшим качественным свойством семенного материала, которая определяется в лаборатории. Под ней понимают способность семян при оптимальных, стандартизированных лабораторных условиях в определенный срок образовывать здоровый, нормально развитый проросток (корень и побег нормально развиты). При лабораторном анализе всхожести

определяют % всхожих семян данной культуры («чистых семян»), которые прорастают при этих условиях.

В данной работе рассматривается влияние электрического поля на всхожесть семян зерновых на примере ячменя сорта . Для эксперимента были отобраны восемь проб семенного материала. В каждой пробе содержалось по 100 единиц зерен ячменя. Все образцы были разделены на две группы по чашки Петри

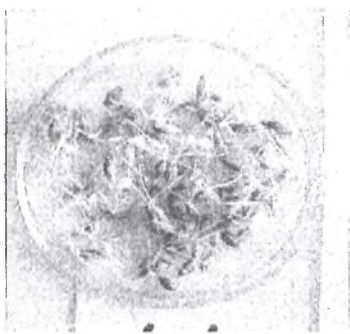


Рис. 1. Проращивание семян на поверхности фильтровальной бумаги чашки Петри

четыре пробы в каждой. Для нарушения периода физиологического покоя использовалось электрическое поле большой напряженности. Для создания электрического поля использовался диэлектрический сепаратор семян СДЛ-1. В диэлектрическом сепараторе рабочим органам служит барабан из диэлектрического материала, на котором намотаны (вплотную — виток к витку) два изолированных проводника, являющимися электродами. К ним подводилось высокое напряжение 5 кВ от повышающего маломощного трансформатора. Между проводниками — электродами создавалось неоднородное электрическое поле, в которое и попадали исследуемые семена. Обработке подвергался семенной материал состоящий из четырех образцов. Семена проращивают на одном или нескольких слоях бумаги. Бумагу помещали в прозрачные чашки Петри. Необходимое количество воды добавляют в начале, испарение предотвращают плотно закрывающимися крышками или упаковкой в пластмассовые пакетики. После этого все семена вместе с необработанными поместили в чашки Петри на дно которых была уложена влажная фильтровальная бумага. Бумага для проращивания должна быть на 100% из отбеленной целлюлозы хлопка или другой очищенной целлюлозы, иметь рыхлую и пористую структуру, рН 6,0...7,5. Проращивание семян производили на аппарате по Якобсону. Относительная влажность воздуха в аппарате должна быть близкой к насыщению.

Пробы считали два раза, так как сроки прорастания разные у разных видов зерновых. При первом подсчете учитывают только нормально проросшие семена, последнем — все семена. Всхожесть определяют, вычисляя среднее из четырех повторений по 100 семян и выражая его в процентах. Результаты являются достоверными только тогда, когда разница между повторениями с наивысшей и наименьшей всхожестью не превышает установленных пределов.

Все образцы помещались в термостат, где поддерживалась постоянная температура (20°C). Для поддержания влажности в камере, использовались дополнительные емкости с водой. На четвертый и седьмой дни проводился подсчет проросших семян. Кроме этого на седьмой день определялось количество

семян с нормально сформировавшимися проростками. Полученные данные сведены в таблицу 1.

Таблица 1. Результаты исследований

четвертый день					
обработанные семена	всхожесть, %	24	21	82	23
необработанные семена		29	0	8	0
седьмой день					
обработанные семена	всхожесть, %	98	100	99	100
	проростание	61	83	74	53
необработанные семена	всхожесть, %	100	98	100	96
	проростание	34	10	54	6

Анализируя данные таблицы 1, можно сделать вывод о том, что электрическое поле действительно оказывает влияние на биологические процессы жизнедеятельности семян. Всхожесть на четвертый день у обработанных образцов на 27% превышает аналогичный показатель у необработанных образцов. Что касается седьмого дня, то здесь всхожесть почти одинаковая, однако разница в количестве нормально проросших семян между обработанными и необработанными семенами составляет 41%.

## РЕГУЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКИ ТЕРМОЛАБИЛЬНЫХ СРЕД ПРИ ЭЛЕКТРОДНОМ ЭЛЕКТРОНАГРЕВЕ

М.А. Прищепов, И.Г. Рутковский,

УО “Белорусский государственный аграрный технический университет”, г. Минск

Автоматизация электронагревательных установок (ЭНУ) позволяет повысить качество обработки сельскохозяйственных термоллабильных сред и уменьшить расход электроэнергии. Регулирование режимов тепловой обработки сред в электродных ЭНУ может проводиться путем: изменения питающего напряжения; изменения межэлектродного расстояния; изменения уровня погружения электродов в обрабатываемую среду; введением между электродами антиэлектрода; растворением солей (NaCl и др.); направлением части нагретой среды с выхода нагревателя на его вход.

В зависимости от способа регулирования режимов тепловой обработки строится и система автоматического регулирования (САР). В зависимости от технологических требований, в ЭНУ может регулироваться один или несколько параметров, влияющих на температурный режим. Например, подводимая мощность и массовый расход в проточных ЭНУ. САР температурных режимов классифицируются: по виду алгоритма функционирования (стабилизирующие, программные, следящие и др.); по принципу регулирования (по отклонению, по возмущению и комбинированные); по характеру регулирования во времени (релейные, прерывистые, непрерывные); по типу усилительно-преобразовательных устройств с пропорциональным (П), интегральным (И), пропорционально-интегральным (ПИ), пропорционально-интегрально-дифференциальным (ПИД) и пропорционально-дифференциальным (ПД) законами регулирования; по взаимодействию регулятора и объекта (разомкнутые и замкнутые); по методу сравнения сигналов (аналоговые, цифровые и цифро-аналоговые); по типу исполнительных устройств (электрические, электромеханические, гидравлические, пневматические и др.); по структурной схеме (одноконтурные, двухконтурные и многоконтурные); по типу датчика (датчик контактного и бесконтактного типа); по принципу действия (прямого и косвенного).

Наибольшей точностью регулирования обладают замкнутые САР. При этом точность регулирования в значительной степени зависит от точности измерения датчика температуры [1]. В ЭНУ при быстром нагреве, важным является также выбор малоинерционного датчика температуры. Использование инерционных датчиков температуры приводит к необходимости применения сложных регуляторов с П, И, ПИ, ПИД и ПД законами регулирования.

Широкое распространение получили металлические и полупроводниковые термомпары и терморезисторы. Однако, заключенные в кожух они имеют постоянную времени, которая соизмерима с инерционностью электродного электронагревателя.

Идеальный контроль температуры по объему нагреваемой среды происходит в конструкции, в которой нагреватель совмещен с датчиком. Электродный

электронагреватель-датчик (ЭЭН-Д) может выполнять функции нагревателя и датчика температуры. При этом необходимо чтобы ЭЭН-Д соответствовал основным требованиям, предъявляемым к электрическому датчику: наличие непрерывной зависимости его выходной величины от изменяемой или входной величины; применимость к имеющейся измерительной или регулирующей аппаратуре; достаточное изменение величины информационного сигнала; соответствие допустимым габаритным размерам и массе; соблюдение допустимого диапазона изменений измеряемой величины; отсутствие обратного воздействия датчика на контролируемый процесс, значительно искажающий его; достаточно малая инерционность, т.е. интервал времени между изменением входной и соответствующим изменением выходной величины должен быть минимальным.

Контроль температуры в ЭЭН-Д можно проводить путем прямого измерения сопротивления обрабатываемой среды методом нулевого или дифференциального сравнения. Для этого необходимо наличие у электродного электронагревателя одного или нескольких дополнительных (промежуточных) электродов [2]. Градиент температурного поля в проточных ЭНУ возникает за счет принудительного перемещения нагреваемой среды, а в емкостных – за счет естественной конвекции обрабатываемой среды, искусственно усиливаемой неравномерным распределением мощности нагрева по высоте электронагревателя.

При дифференциальном методе измерений (неуравновешенной мостовой измерительной схеме) происходит неполное уравнивание измеряемой величины. Дифференциальный метод сочетает в себе ряд признаков как метода непосредственной оценки, так и нулевого метода. Он дает достаточно точный результат для определенного разбаланса мостовой измерительной схемы.

В заключение можно сделать следующие выводы. При быстротечности процессов термообработки термолабильных сред необходим малоинерционный датчик температуры, термочувствительным параметром которого может быть термозависимое сопротивление нагреваемой среды. Устройство, в котором производится прямое измерение сопротивления методом нулевого или диффе-

рещионального сравнения, обеспечивает выполнение им и функции датчика температуры.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1 Ахметжанов, А.А. Следящие системы и регуляторы / А.А. Ахметжанов, А.В. Кочемасов. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 288 с.
- 2 Прищепов, М.А. Моделирование характеристик емкостного электродного нагревателя-датчика для нагрева термолабильных сред / М.А. Прищепов, И.Г. Рутковский // Агропанорама. №6. 2004. – С. 15–22.

### **ПРИНЦИПЫ САМООРГАНИЗАЦИИ И ЭКСЭРГЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ В ОБОСНОВАНИИ ЭНЕРГО-, РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ АГРОТЕХНОЛОГИЙ.**

Русан В.И., УО БГАТУ, Минск,

Королев В.А., Свентицкий И.И., Алхазова Е.О., ГНУ ВИЭСХ, г. Москва

Общеизвестна принципиальная сложность обоснования высокоэффективных энерго-, ресурсосберегающих агротехнологий. Существенное упрощение решения этой проблемы можно достигнуть использованием принципов самоорганизации (синергетика, неравновесная термодинамика, динамика сложных нелинейных систем) и применением эксэргетического анализа. Принцип подчинения синергетики позволяет обосновать простую безальтернативную модель зависимости продуктивности организмов (растений, животных и др.) от режимов питания и других экологических условий. В соответствии с этим принципом в сложной системе из числа многих параметров и переменных выбирают одну переменную, которая наиболее быстро изменяется и от которой сильно зависит определяемый результат (продуктивность). Эту переменную называют переменной порядка и только её как переменную учитывают при анализе системы. Далее выбирают параметры управления, которые учитывают при анализе системы. Например, в сложной системе формирования продуктивности расте-

ний в качестве переменной порядка избрана переменная притока к растениям той части энергии солнечного излучения, которая потенциально может быть использована растениями на фотосинтез и формирование продуктивности.

Эта величина (переменная) названа эксэргией оптического излучения для растениеводства. ВИЭСХ создал прибор для непосредственно измерения этой величины, совместно с ВНИИ оптико-физических измерений Госстандарта РФ разработал первичную ее метрологию. В качестве параметра управления в рассматриваемой системе могут быть приняты все иные экологические факторы, влияющие на продуктивность по мере их приближения к относительному минимальному значению, при котором они ограничивают формирование продуктивности (температура, водный режим, минеральное питание и др.).

На основе величины эксэргии оптического излучения для растениеводства обосновано количественное взаимосогласованное определение агроэкологических величин: агроклиматический и мелиоративный потенциал земельного угодья, его плодородие и др. Все эти величины выражены в одинаковых единицах измерения - эксэргии – свободной энергии солнечного излучения, потенциально пригодной для формирования продуктивности.

Синергетическая модель и названное определение основных агроэкологических величин позволили проводить совместный эксэргетический анализ преобразований как техногенной энергии, так и биоконверсии её в процессах формирования продуктивности организмами, а также обеспечили возможность создавать и использовать компьютерные системы энерго-, ресурсосберегающей оптимизации производства продукции растениеводства, корректно определять уровень эффективности агротехнологий по показателям результативности использования техногенной и природной энергии, материальных затрат и экологосовместимости агротехнологий.

Важным положением самоорганизации является принцип энергетической экстремальности самоорганизации и прогрессивной эволюции. Этот принцип позволил разрешить длительно не решавшиеся проблемы фундаментальной

науки, связанной с началами термодинамики. Он логически концептуально объединяет в виде зеркальной динамической симметрии второе начало термодинамики и противоположный ему по сущности закон выживания. Исторический анализ развития физики и математики за период от середины XVII столетия до настоящего времени подтверждает достоверность существования принципа энергетической экстремальности самоорганизации, и закона выживания, который, в свою очередь, объединяет и естественнонаучно объясняет феноменальные физико-химические принципы (Ферма, наименьшего действия, Ле-Шателье и др.), которые использованы в качестве исходных положений в физике и химии (см. фиг. 1).



Рисунок 1. Схема связи принципа энергетической экстремальности самоорганизации и закона выживания с феноменальными физико-химическими принципами и вторым началом термодинамики.

Исходной аксиомой закона и принципа принято природное явление – жизнь и смерть, которое характерно для самоорганизующихся объектов всех уровней организации природы: от микрочастиц (фотоны, электроны) до космических мегаобъектов (планеты, солнце и др.) Исходя из этой аксиомы легко доказываются основные теоремы физики – теорема возврата Пуанкаре-Мисре, СРТ-теорема теории квантового поля Паули-Людерса и др. Эти принцип и за-

кон позволили решить длительно не разрешавшиеся проблемы, связанные с началами классической термодинамики. Они позволяют разработать единую теорию естествознания и ускорить развитие экологически чистых высокоэффективных технологий в аграрном производстве, энергетике и других сферах производства.

## **НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ МОСТ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО ЭЛЕКТРОСОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОВОЛОЧНЫХ ПРОВОДНИКОВ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ**

Соболь В.Р., УО БГАТУ г. Минск,

Кириленко А.И., Дрозд А.А., МГВАК г. Минск

В криогенных индуктивных системах накопления энергии используются сверхпроводящие материалы и проводники из нормальных металлов – алюминия, меди, их сплавов и композиций, которые играют роль армирующих элементов, отводящих за счет хорошей теплопроводности тепло, выделяющееся в местах соединения секций обмоток. Элементы из высокочистых алюминия и меди стабилизируют и позволяют улучшить электрические, тепловые и механические свойства сверхпроводящих кабелей. Выведение энергии из индуктивного накопителя осуществляется в режиме размыкания и переключения токовой цепи на потребителя, где ток с течением времени ведет себя подобно экстрактору размыкания. Сверхпроводники имеют нулевое сопротивление только для постоянного или медленно изменяющегося тока и при частотных эффектах, сопровождающих переходные процессы, перестают шунтировать участки из нормального металла. В этой связи необходимо учитывать электропроводящие свойства нормальных металлов в диапазоне частот от единиц герц и выше [1-4]

В сообщении представлена усовершенствованная конструкция моста переменного тока для экспериментального изучения низкочастотного сопротивления проволок из нормальных металлов в экстремальных условиях воздействия низких температур и сильных магнитных полей. Для квазистационарного

тока нет однозначного мнения о свойствах проводников из нормальных металлов, поскольку распределение тока по сечению не тривиально и может отвечать как классическим схемам описания, так и отличаться за счет размерного эффекта, и необходим экспериментальный контроль свойств. Предложенная система позволяет проведение потенциметрических измерений методом регистрации сопротивления переменному току (рис 1).

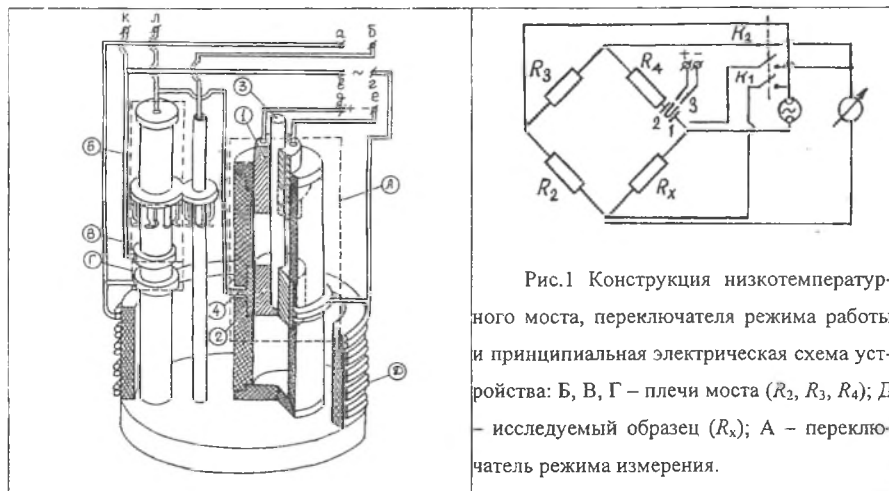


Рис.1 Конструкция низкотемпературного моста, переключателя режима работы и принципиальная электрическая схема устройства: Б, В, Г – плечи моста ( $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$ ); Д – исследуемый образец ( $R_x$ ); А – переключатель режима измерения.

В области температур от азотных и выше воздействие постоянного магнитного поля на движение носителей заряда в нормальных металлах незначительно. Для предельно низких температур гелиевого диапазона необходимо учитывать поперечные размеры образца и их влияние на перенос заряда. В такой задаче сосуществуют три характерных параметра с размерностью длины: длина свободного пробега, ларморовский радиус и толщина скин-слоя, которые определяют резистивные свойства.

Для эксперимента образцы следует наматывать максимально безиндуктивно, чтобы реактивной составляющей импеданса можно было пренебречь. Применяемая мостовая схема позволяет проводить измерения на переменном и постоянном токе. В данном случае образец является плечом моста, одна из диа-

гоналей которого служит нагрузкой генератора переменного тока работающего в режиме источника электродвижущей силы. В другую диагональ включен селективный усилитель, как нуль-индикатор. Мост сконструирован с учетом необходимости его позиционирования в магнитном поле и для исключения влияния частотных эффектов его элементы изготовлены из высокоомной нержавеющей стали.

Регистрация сопротивления элементов моста после балансировки осуществляется потенциометрически на постоянном токе, посредством применения низкоомного переключателя режима измерений, который состоит из подвижного элемента и токосъемных контактов. Подвижный элемент представляет собой короткозамкнутый медный стакан 1 и полый, разрезанный по диаметру цилиндр 2, напрессованные на единый шток. Полый цилиндр соединен с источником постоянного тока. При выдвигении штока центральные токосъемные контакты 3 либо короткозамкнуты (основной режим измерений, указан на Рис. 1), либо к ним подключается разрезанный цилиндр (нижнее положение) и источник постоянного тока для измерения величин сопротивления плеч моста

Для прямого измерения падения напряжения на переменном токе используются дополнительные токовый и потенциальный контакты, которые при мостовом способе разомкнуты парой заблокированных переключателей  $k_1$ . Замыканием  $k_1$  и разрывом мостовой схемы переключателем  $k_2$  осуществляется вариант прямого измерения. При этом переключатель режима работы моста должен находиться в режиме постоянного тока (нижнее положение штока) при отключенном источнике постоянного тока. В качестве примера на Рис. 2 представлены результаты измерения сопротивления алюминия постоянному току и поверхностного сопротивления. Отметим, что измеренное сопротивление переменному току  $r_f$  позволяет определить поверхностное сопротивление, поскольку отношение величины электрического поля к полному току есть  $r_f$  поверхностное сопротивление, нормированное на длину окружности.

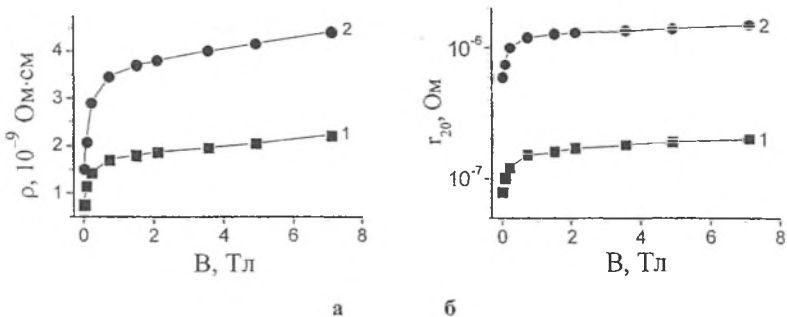


Рис. 2. Статическое удельное сопротивление  $\rho$  (а) и сопротивление переменному току  $r_{20}$  (б) как функция магнитного поля для алюминиевых образцов диаметром  $d$ , мм: 0.3 (1); 0.1 (2).

Характерно, что если для статического случая полевая зависимость линейна, то в квазистационарном режиме имеет место слабая нелинейность, которая четче проявляется на более массивном образце. Влияние  $B$  на  $r_{20}$  весьма ощутимо лишь в области перехода от нулевого значения к 0.6 Тл.

#### Литература

1. Волошин И.Ф., Фишер Л.М. Методика и результаты измерений электрического сопротивления фольги из алюминия высокой чистоты на переменном токе при  $T = 4.2$  К. // Вопросы крио- электротехники и низкотемпературного эксперимента // Киев: Наук. думка, 1976. – С. 21 – 27.
2. Нелинейный скин-эффект в металлах / В.В.Васькин, И.Ф.Волошин, В.Я. Демиховский, Л.М.Фишер // ФНТ. – 1979. – Т.5. N 6. – С. 605 – 609.
3. Емельянова Т.В., Песчанский В.Г., Синолицкий В.В. О размерных гальваномагнитных эффектах в тонких металлических проволоках. – Донецк, 1983. – 39 с. – (Препринт Донецкий физико-технич. ин-т; ДонФТИ 83–19(74).
4. Гостищев В.И., Дрозд А.А., Соболев В.Р., Криворучко Т.А. Размерный и частотный эффект в алюминии // ФММ. – 1986. – Т. 61, вып. 5. – С. 1038 – 1040.

# ТЕМПЕРАТУРНЫЙ МЕХАНИЗМ ДИСПЕРСИИ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН

Соболь В.Р., Логвинович П.Н.

УО “Белорусский государственный аграрный технический университет”, г. Минск

Акустическую волну, в том числе и ультразвукового диапазона в низкочастотной области, принято рассматривать как колебательное движение частиц среды, осуществляемое по гармоническому закону во времени и пространстве и переносящее энергию с не зависящей от частоты скоростью. Такая идеализированная картина волнового процесса не предусматривает возможности существования механизмов, воздействующих на амплитуду и фазу волн за счет диссипации энергии механических колебаний. В целом поглощение энергии волнообразного движения материи, например, в случае электромагнитных колебаний, объясняется фактом существования мнимой составляющей скорости, которая формализуется через комплексный показатель преломления. В оптической области частот для прозрачных сред показатель преломления принимают как вещественную характеристику, а для проводящих, непрозрачных материалов комплексный характер показателя преломления позволяет описать явление скинирования электромагнитной волны в поверхностном слое материала. В реальных сплошных средах при распространении механических колебаний также существует поглощение энергии, связанное с нарушением условия абсолютной упругости, обусловленного присутствием дефектов кристаллической структуры. Данное обстоятельство позволяет рассматривать обратную задачу и по состоянию параметров распространяющихся акустических колебаний восстанавливать некоторые свойства среды, используя широкий диапазон частот применительно к эффектам упорядочения и перестройки атомной структуры материалов, связанным с диффузией примесей и вакансий в кристаллической решетке, а также к различным аспектам пластичности и прочности материалов и т.д. Высокая чувствительность и точность акустических измерений дает возможность проводить изучение материалов в широком диапазоне локальных деформаций – от малых, когда свойства среды можно аппроксимировать в приближении закона Гука, до критических, отвечающих пределу прочности. Методы, основанные на измерении скорости, фазы и степени поглощения акустических волн, позволяют вести непрерывные наблюдения за различными физико-химическими превращениями, происходящими в средах, включая кинетику фазовых переходов, изучать характер внутрикристаллических сил, действующих между атомами и ионами [1 – 3].

В работе рассмотрены некоторые аспекты воздействия на скорость и фазу акустической волны температурных механизмов, обусловленных взаимодействием

вием протяженных и точечных дефектов кристаллической структуры. Дислокационные механизмы поглощения энергии акустических волн известны достаточно давно. Установлено, что внутреннее трение, особенно на резонансных частотах для дислокационных отрезков, резко возрастает, а частота резонанса смещается в низкую область с возрастанием сил вязкости, приводя к дисперсии скорости звука в гигагерцевой области частот. В настоящем случае проанализирован температурный механизм дисперсии скорости звука в мегагерцевой области, который обусловлен взаимодействием дислокаций с примесными атомами в атмосферах, образуемых в областях всестороннего сжатия и растяжения вблизи экстраплоскости краевой дислокации. При рассмотрении учтено взаимодействие точечных и протяженных дефектов, приводящее к поглощению энергии механических колебаний. Энергия взаимодействия положительной краевой дислокации с примесным атомом принимается в традиционном виде

$$W = \frac{Gb\delta V(1+\nu)}{1-\nu} \frac{\sin \theta}{r}, \quad (1)$$

где  $r$  и  $\theta$  - цилиндрические координаты примесного атома относительно прямой линии дислокации и ее вектора Бюргера.  $G$  - упругий модуль сдвига,  $\delta V$  - локальное изменение объема в точке нахождения примесного атома,  $\nu$  - коэффициент Пуассона,  $b$  - величина вектор Бюргера.

Максимальная энергия взаимодействия в таком рассмотрении по порядку величины будет  $W = \frac{4Gb^3\varepsilon(1+\nu)}{3(1-\nu)}$ ,  $\varepsilon$  - относительная разность радиусов примесного  $R_i$  и собственного  $R_0$  атомов,  $\varepsilon = (R_i - R_0)/R_0$ . Вдоль дислокационной линии длиной  $L$  будут располагаться цепочки примесных атомов с количеством в каждой из них  $L/\lambda$  ( $\lambda$  - среднее расстояние между атомами примеси, которое выражается как  $\lambda = a \cdot c^{-\frac{1}{3}}$ ,  $a$  - постоянная кристаллической решетки,  $c$  - концентрация атомов примеси в области нахождения дислокационной линии). Выигрыш энергии при осаждении вдоль дислокации единичной цепочки примесей составляет

$$W_0 \cong \frac{4Gb^2 \varepsilon (1+\nu) c^{\frac{1}{3}}}{3(1-\nu)} \quad (2)$$

Подобно тому, как искривленная дислокация при отсутствии примесей, стремясь к минимуму энергии распрямляется и обретает минимальную длину, так и искривленная дислокация при наличии примесей будет получать дополнительный выигрыш энергии, если распрямляясь она будет приближаться к прямолинейной цепочке атомов примеси.

Следует заметить, что в известных моделях взаимодействия дислокаций с примесями предполагается, что притяжение дислокации к примеси исчезает при малейшем удалении участка дислокации от примеси, что приводит к их лавинообразному отрыву от примесей на всем участке дислокации, закрепленной в точках пересечения с другими протяженными дефектами. Таким не абсолютным бесспорным механизмом пытаются обосновать наличие гистерезиса в каждой локальной точке пространства между напряжением и деформацией.

Исходя из вышеизложенного имеет смысл взаимодействие дислокационного отрезка с примесными атомами представлять как дополнительный источник упругого натяжения. Представляя дислокационный отрезок, движущийся в поле знакопеременного напряжения в приближении струнной модели с коэффициентом, определяющим силу линейного натяжения вида

$$D = \frac{2Gb^2}{\pi(1-\nu)} \left[ 1 + \frac{2}{3}(1+\nu)\varepsilon c^{\frac{1}{3}} \right] \quad (3)$$

было получено решение для смещения отрезка вдоль его длины, на основании которого записана скорость акустической волны, в которой концентрация примесных атомов  $c$  вблизи дислокационной линии связана с равновесной

концентрацией примесей  $c_0$  вдали от дислокации  $c = c_0 e^{\frac{W_0}{3kT}}$ .

$$v = \left( \frac{G}{\rho} \right)^{\frac{1}{2}} \left[ 1 - \frac{\Lambda}{V} \frac{l^4 \pi^2 (1-\nu)^2}{4Gb^2 \left[ 1 + (1+\nu) \epsilon c_0 e^{\frac{W}{2kT}} \right]} \frac{B\omega}{1 + \frac{B^2 \omega^2 l^4 \pi^2 (1-\nu)^2}{16G^2 b^2 \left( 1 + (1+\nu) \epsilon c_0 e^{\frac{W}{2kT}} \right)}} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

Здесь:  $\rho$  - плотность вещества,  $\Lambda/V$  - плотность дислокаций,  $l$  - характерная длина дислокационного сегмента,  $B$  - коэффициент определяющий силу вязкого трения, который является функцией температуры, поскольку определяется электронной и фононной составляющими воздействия на смещение атомов из положения равновесия.

По смыслу первый сомножитель в (4) является скоростью акустической волны бездефектного материала, а вклад протяженных и точечных дефектов определяется поправочным слагаемым к единице во втором сомножителе. Следуя (4) скорость звука является немонотонной функцией частоты, зависящей от температуры, что позволяет оценить вклад температурного механизма в эффективный упругий модуль, который возрастает с понижением температуры, поскольку концентрация примесных атомов на дислокациях, может существенно отличаться от своего равновесного значения, вплоть до выпадения новых фаз вблизи протяженных дефектов.

Вместе с тем полученное выражение не обнаруживает дисперсионных закономерностей поведения скорости, связанных с резонансным движением дислокаций в области гиперзвуковых частот, которые, тем не менее, присутствуют в большей или меньшей степени, поскольку движение дислокационного сегмента при недостаточной эффективности сил вязкого трения, что имеет место в области гиперзвуковых частот, вполне может обнаружить эффективное поглощение энергии механических колебаний. Учет указанных обстоятельств позволит получить общее выражение для скорости, адекватное всему диапазону частот акустических колебаний.

#### Литература

1. Соболев, В.Р. О влиянии сил вязкости на движение дислокационного сегмента и распространение упругих колебаний в металлах / В.Р. Соболев [и др.]

// Доклады НАН Беларуси. – 2007. – Т. 51, № 3. – С. 13–18.

2. Алексеенко, В.И. Применение ультразвуковых частотно-фазовых методов для исследования ферромагнитных материалов / В.И. Алексеенко, В.И. Крылович, П.Н. Логвинович // Дефектоскопия. – 1985. – № 6. – С. 90–92.

3. Логвинович, П.Н. Исследование процессов полимеризации композитных экоматериалов для сельскохозяйственного машиностроения / П.Н. Логвинович // Агропанорама. – 2007. – № 2. – С. 19–25.

## **О ДИНАМИКЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ОБРАЗЦА В МАГНИТНОМ ПОЛЕ**

Соболь В.Р., БГАТУ, г. Минск

Устинович Д.Ф., ФТИ НАН Б, г. Минск

Быкова С.Л., Малишевский В.Ф., Козик В.А., УО БГАТУ, г. Минск

Кириленко А.И., МГВАК, г. Минск

Развитие энергосберегающих технологий применительно к производству промышленной и сельскохозяйственной продукции подразумевает создание более совершенных материалов, включая средства для изготовления и доводки новых машин и агрегатов. В этом ряду важное место занимает обработка изделий из твердых материалов типа стекла, керамики, металлорежущих сплавов и т.д. Импортозамещающий инструмент абразивного ряда вполне можно изготавливать в существующих на данный момент условиях, если разработать эффективные способы формирования режущих кромок из материалов типа алмаза, кубического нитрида бора и других. Оптимальная организация рабочих слоев абразивных кругов, включая упорядочение расположения частиц из сверхтвердого материала в связующей матрице, позволяет обеспечить повышение стойкости и режущей способности инструмента за счет снижения температуры в зоне резания и уменьшения энергетических затрат. Для придания режущим зернам нужной ориентации применяют электрическое или магнитное поле [1–3].

В сообщении представлены результаты дальнейшего анализа по воздействию внешнего однородного магнитного поля на цилиндрический образец, взвешенный в жидкой среде [4]. Образец олицетворяет собой зерно из твердого материала, содержащего либо магнитные атомы, либо покрытого ферромагнетиком. В силу симметрии более низкой по сравнению с симметрией сферы образец будет испытывать воздействие внешнего поля, стремясь прийти в положение с максимальным выигрышем энергии, когда ось легкого намагничивания совпадает по направлению с внешним полем  $B$  (Рис. 1). Для оценочного расчета выбрана модель, в которой сплошной цилиндр из немагнитного материала (диа-, пара-, скомпенсированный антиферромагнетик) несет на своей поверхности феррослой. Проанализирована взаимосвязь размера образца, толщины покрытия и величины его магнитной восприимчивости, вязкости среды с характерными временными параметрами движения на основе стандартного уравнения динамики.

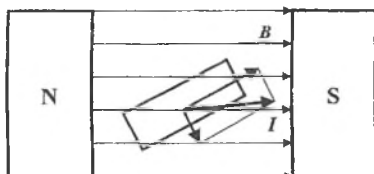


Рис. 1. Схематическое изображение воздействия внешнего магнитного поля  $B$  на намагничивающийся в этом поле образец в форме цилиндра.

Процесс разворота образца отчасти напоминает известное явление вращения магнитного диполя во внешнем однородном поле  $B$ . В данном случае результирующий магнитный момент образца является функцией угла поворота и определяется масштабом искажения поля в объеме и пространстве вокруг него, степень которого определяется характером проникновения поля в объем ферромагнетика, задаваемого геометрическим фактором размагничивания. При произвольной ориентации цилиндра по отношению к  $B$  выигрыш энергии в объеме складывается из двух составляющих поля: параллельной и нормальной

к оси. Эти составляющие неодинаковы из-за размагничивающих эффектов на поверхности и магнитная энергия непрерывно изменяется между двумя предельными значениями, отвечающими нормальной и коллинеарной ориентации цилиндра. Момент силы можно определить как производную от магнитной энергии в объеме слоя по углу. С учетом этого движение цилиндра можно представить как вращение вокруг оси, проходящей через центр масс:

$$I \frac{d^2\varphi}{dt^2} = -A \frac{d\varphi}{dt} - \frac{B^2 \pi D L \delta}{4 \mu_0} (\chi_{\parallel} - \chi_{\perp}) \sin(2\varphi) \quad (1)$$

Здесь  $I$  – момент инерции,  $A$  – коэффициент трения, задает момент вязких сил,  $\mu_0$  – магнитная постоянная,  $\chi_{\parallel}$  и  $\chi_{\perp}$  – магнитная восприимчивость покрытия при ориентации параллельно и поперек  $B$ ,  $D$  и  $L$  – диаметр и длина цилиндра,  $\delta$  – толщина ферропокрытия.

В силу наличия границ раздела магнитная восприимчивость слоя  $\chi_N$  не совпадает с восприимчивостью материала в слое  $\chi$ :  $\chi_N = \chi / (1 + \chi N)$ , ( $N$  – фактор размагничивания, зависящий от  $\delta$ ). В уравнении (1) вращающий момент является функцией угла  $\varphi$ . Строгое решение можно пытаться искать преобразуя (1) к уравнению первого порядка типа уравнения Абеля, которое нелинейно в том смысле, что содержит произведение от мгновенной угловой скорости и производной от этой скорости по углу. В более грубом приближении постулируем, что в исходном положении ось цилиндра отклонена от силовых линий на малый угол. Тогда момент силы можно считать линейной функцией  $\varphi$  и (1) сводится к традиционному уравнению движения систем вблизи равновесия под действием квазиупругой силы, с соответствующим решением:

$$\varphi = C_1 e^{-\left[ \frac{A}{2I} + \sqrt{\frac{A^2}{4I^2} - \frac{B^2 \pi D L \delta}{2I \mu_0} (\chi_{\parallel} - \chi_{\perp})} \right] t} + C_2 e^{-\left[ \frac{A}{2I} - \sqrt{\frac{A^2}{4I^2} - \frac{B^2 \pi D L \delta}{2I \mu_0} (\chi_{\parallel} - \chi_{\perp})} \right] t}$$

Выражение для  $\varphi$  характеризует в общем случае три вида движения зерна: затухающие осцилляции, релаксацию к положению равновесия и аperiodический тип движения. Для рассматриваемого случая целесообразен режим апе-

риодического либо релаксационного движения. Следовательно, технологические условия следует выбирать так, чтобы инерционная составляющая в движении была достаточно малой. Поскольку параметры решения содержат все перечисленные характеристики, вполне возможно воздействуя на меньший по модулю показатель степени в экспоненте определить  $B$ ,  $\delta$ ,  $\chi$ , требуемые для разворота за определенное время цилиндрического элемента, находящегося в вязкой жидкой среде. Для сопоставления адекватности используемого приближения с принятой моделью целесообразен лабораторный эксперимент.

#### Литература

1. Зайцев А.Г. Расчет числа зерен, ориентированно расположенных на рабочей поверхности шлифовального круга // Сверхтвердые материалы. – 1982. – N 6. – С. 41 – 44.

2. Ящерицын П.И., Забавская М.Т., Кожуро Л.М., Акулович Л.М. Алмазно-абразивная обработка и упрочнение изделий в магнитном поле. Мн.: Наука и техника. 1988.

3. Шипило В.Б., Дуб С.Н., Ракицкая Л.И., Косарев О.М. Особенности прямого фазового превращения пиролитического нитрида бора в кубическую модификацию и исследование ее свойств // Весці нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя фізіка-тэхнічных навук. – 2004. – N 1. – С. 8 – 13.

4. Устинович Д.Ф., Соболев В.Р. Расчет толщины ферромагнитного покрытия ориентированных алмазных зерен. // Материалы. Технологии. Инструменты. – 2003. – Т. 8, N 4. – С. 27 – 29.

### ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ СУШКЕ ЗЕРНА В АГРОКОМБИНАТЕ «СНОВ»

Сунцова Ю.А., Коротинский В.А., Гаркуша К.Э.,

УО “Белорусский государственный аграрный технический университет”, г. Минск

Проблемы энерго- и ресурсосбережения в агропромышленном комплексе (АПК) и жилищно-коммунальном хозяйстве (ЖКХ) Республики Беларусь требуют осуществления мероприятий, направленных на рациональное использование теплоты, электрической энергии и топлива в технологических процессах производства, социальной сфере и в быту, что, в свою очередь, предъявляет к руководителям энергетической службы высокие требования в выборе и эксплуатации энергооборудования.

Главной проблемой организационного характера является естественное противоречие между потребностями получить столько энергии, сколько нужно, и в тот момент, когда это удобно, и основным принципом рационального использования энергоресурсов – постоянная нагрузка и номинальный расход.

Вопросы экономии энергии при тепловой сушке являются частью общей задачи повышения ее эффективности.

В производствах, связанных с сушкой зерновых культур, осуществляемых на зерносушилках, расход энергоресурсов значительно зависит от начальной влажности просушиваемого зерна, его вида и назначения. Масса зерна и производительность сушилок выражается в естественном (физическом) исчислении – тоннах и в условном исчислении – плановых тоннах. Нормирование расхода топливно-энергетических ресурсов осуществляется на плановую тонну зернового сырья. Влажность сырого и конечная влажность просушиваемого зерна на предприятиях определяются производственно-технологической лабораторией в соответствии с действующим технологическим регламентом.

Для оценки энергетического совершенства отдельных сушильных установок, а также при решении задач анализа деятельности подразделений агропромышленных комплексов, на которых они широко применяются, эффективно используются энергетические балансы. Баланс позволяет количественно оценить долю полезно израсходованной энергии и ее потери, коэффициент полезного действия и другие показатели экономичности сушильных установок.

К основным направлениям улучшения показателей качества сушильной установки можно отнести: использование теплоты отработавшего сушильного агента; улучшение теплоизоляции и герметизации сушильной установки; создание компактных конструкций; совершенствование и автоматизация топочных устройств; применение современных методов контроля и регулирования процесса сушки; недопущение пересушивания материала.

В настоящее время в народном хозяйстве Республики Беларусь эксплуатируется достаточно большое количество сушилок с  $\eta(t) = 12 \dots 80\%$ . Наибольшее распространение получили (до 95% всего парка сушильных установок) конвективные сушилки, использующие в качестве сушильного агента воздух, инертные или топочные газы, в диапазоне  $\eta(t) = 12 \dots 60\%$ .

Среднестатистические данные по тепловым балансам непрерывно действующих конвективных сушильных установок показывают, что подведенная теплота расходуется приблизительно в следующих пропорциях:

- испарение влаги – 20...60%;
- нагрев материала – 5...25%;
- потери теплоты с уходящим сушильным агентом 15...40%;
- потери теплоты через ограждающие конструкции 3...10%;
- прочие потери 5...20%.

Для сушилок периодического действия последняя статья расхода энергии возрастает до 30...35%. Лишь затраты теплоты на испарение влаги относятся к полезно используемым.

Из анализа тепловых балансов конвективных сушильных установок следует, что наибольшие потери теплоты обуславливаются отходящим сушильным агентом. Перспективным направлением в экономии топлива и энергии при сушке зерна в конвективной зерносушилке является всемерное сокращение этого вида потерь. Это достигается в первую очередь за счет рециркуляции части отработавшего сушильного агента, что значительно сокращает расходы уходящего агента.

Однако рециркуляция приводит к повышению влагосодержания сушильного агента, что, с одной стороны, способствует повышению тепловой экономичности, а с другой – уменьшает движущие силы процесса массообмена, и, следовательно, может вызвать увеличение продолжительности сушки или габаритов установки.

Анализируя целесообразность этого направления повышения тепловой экономичности конвективных сушильных установок, следует помнить, что рециркуляция как метод использования вторичных энергоресурсов для повышения экономичности установок способствует и повышению экологической ценности технологической схемы сушильной установки.

### *Сушка зерна и кукурузы в агрокомбинате «Снов»*

Сушка зерна осуществляется на двух зерносушильных комплексах:

ЗСК-1, в состав которого входят зерносушилки М-819 и М-820, и ЗСК-2, в состав которого входят зерносушилки S-624 и S-628. Оба комплекса работают на газообразном топливе. Поступающее на сушку зерно, как правило, проходит через сушилки несколько раз, что определяется погодными условиями.

Зерносушилки ЗСК-1 (М-819; М-820) состоят из двух параллельно расположенных на станине шахт с распределительной камерой между ними и общим надсушильным бункером. Сушка происходит чистым воздухом, нагретым топочными газами. Производительность зерносушилок составляет 20 т/ч. Автоматика регулирует процесс горения, обеспечивая стабильный и экономичный режим сушки зерна.

На зерносушильном комплексе №2 представлены зерносушилки S-624, S-628, которые состоят из двух параллельно расположенных шахт. Сушка также происходит чистым воздухом, нагретым топочными газами. При поступлении зерна влажностью свыше 19% схема сушилок позволяет осуществить переход на последовательный режим прохождения зерна через зоны сушки. Производительность зерносушилки S-624 составляет 24 т/ч; зерносушилки S-628 – 30 т/ч. Автоматика регулирует процесс горения, обеспечивая стабильный и экономич-

ный режим сушки зерна. Удельные показатели расхода топлива на сушку зерновых представлены в табл. 1.

Таблица 1 Удельные показатели расхода топлива на сушку зерновых зерносушильными комплексами

Продукция	П, т	Н <sub>т</sub> , кг у.т./т
<b>ЗСК-1</b>		
Сушка зерна	8000	17,3
Сушка кукурузы	2000	33,4
<b>ЗСК-2</b>		
Сушка зерна	13000	13,1
Сушка кукурузы	3000	21,9

#### Литература

1. Данилов О.Л., Леончик Б.И. Экономия энергии при тепловой сушке. – Москва: Энергоатомиздат, 1986.
2. Данилов О.Л. Теория и расчет сушильных установок. – Москва: Энергоатомиздат, 1977.

## **ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЯ ДЛЯ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ЕМКОСТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

А.Б. Торган,

УО “Белорусский государственный аграрный технический университет”, г. Минск

Выпуск пищевых продуктов зачастую ведется в нестерильных условиях. А не выполнение или невыполнение санитарных мероприятий может привести к инфицированию производства. Если происходит инфицирование производственного оборудования, то это может повлечь за собой инфицирование и самого продукта. Микробная загрязненность пищевых продуктов может представлять опасность для здоровья потребителей и сокращает сроки реализации продукции. Для снижения уровней микробного загрязнения собственно продуктов, воды, используемой при мытье и консервировании, производственного емкостного оборудования, тары используют тепловую обработку, гамма-излучение,

химические дезинфектанты. На протяжении последних лет все большее внимание производителей пищевой продукции привлекает озонирование. Озон является одним из наиболее сильных антимикробных агентов и имеет ряд бесспорных преимуществ по сравнению с другими обеззараживающими агентами:

1. В процессах дезинфекции озон конвертируется в кислород, который не токсичен и не образует токсичных соединений. Озон — нестойкий газ, который самопроизвольно разлагается и не накапливается в организме.

2. Обладая исключительно высокой окислительной способностью, озон гораздо более эффективен, чем традиционно используемые реагенты такие, как формальдегид, хлор, окись этилена и др. в процессах инактивации бактерий, спор бактерий, грибов, вирусов. Для озона требуется меньшее время контакта, чем для других дезинфектантов.

3. Озон обладает сильным дезодорирующим эффектом.

4. Технологии применения озона — экологически чистые. Не прореагировавший озон разлагается на катализаторах разложения озона. Процесс разложения ускоряется при температурном воздействии.

5. Для генерации озона необходим только воздух или кислород и электроэнергия. При применении озоновой технологии исключаются транспортировка и хранение реагентов, связанные с соблюдением специальных мер безопасности.

6. Присущий озону запах оповещает персонал в случае аварийной ситуации задолго до достижения опасных для здоровья концентраций.

Промышленным путем озон получают с помощью специальных озонирующих установок. Его получение сравнительно просто, оно осуществляется электросинтезом в газоразрядных реакторах-озонаторах, для которых требуется только подача электроэнергии, а сырьем может служить атмосферный воздух. Примером такой установки является озонатор «ЭРГО». Озонатор «ЭРГО» по своим техническим характеристикам соответствует требованиям и является основным оборудованием для обработки емкостей. Основой озонатора является

генератор озона коронного разряда. Установка включает в себя источники высокого напряжения и блоки электродов. В состав озонатора входит генератор озона и пульт управления, позволяющий дистанционно управлять режимом. Работа озонатора может быть полностью автоматизирована. Управление и обслуживание озонатора просто и доступно оператору любой квалификации при соблюдении норм техники безопасности, подробно изложенных в инструкции по эксплуатации и в паспорте прибора.

В РУП «Научно-практический центр национальной академии наук Беларуси по продовольствию» разработана новая технология обеззараживания емкостного оборудования с использованием метода озонирования для предприятий, требующих высокой микробиологической стерильности. В данной технологии после окончания санитарной обработки озono-воздушной смесью не требуется дополнительно ополаскивать водой внутренние поверхности оборудования, так как озон распадается на атомарный и молекулярный кислород, не оставляя на резервуарах продуктов распада. На основании продолжительных лабораторных и производственных испытаний были определены режимы обработки для емкостей разного объема.

На основании данных, полученных в ходе производственных испытаний, была скорректирована формула расчета продолжительности обработки емкостного оборудования озono-воздушной смесью.

Сейчас проводятся исследования по определению распределению озono-воздушных потоков в емкостях различного объема, и разрабатывается установка для подготовки, подачи и распределения озono-воздушных масс в емкостном оборудовании.

В настоящее время большинство предприятий использует для дезинфекции емкостного оборудования метод пропаривания. Данный метод требует больших энергетических и материальных затрат. Чего не скажешь о технологии озонирования. Был проведен сравнительный анализ расчета стоимости метода стерилизации паром и метода озонирования. По методу стерилизации потребность

пара для обеззараживания одной емкости объемом  $6 \text{ м}^3$  составляет 36,80 кг, для емкости  $12 \text{ м}^3$  – 62,23 кг, для емкости  $50 \text{ м}^3$  – 157,30 кг, а для емкости объемом  $100 \text{ м}^3$  – 225,39 кг пара. Если произвести обработку этих емкостей методом озонирования, расход электроэнергии на одну обработку составит: для емкости объемом  $6 \text{ м}^3$  – 0,132 кВт/ч, для емкости  $12 \text{ м}^3$  – 0,2 кВт/ч, для емкости  $50 \text{ м}^3$  – 0,4 кВт/ч, а для емкости объемом  $100 \text{ м}^3$  – 0,8 кВт/ч. Финансовые затраты при обработке паром емкости объемом  $6 \text{ м}^3$  составят 560 руб., а методом озонирования – всего 13 руб., т.е. дешевле на 547 руб. Соответственно затраты при обработке паром емкости объемом  $12 \text{ м}^3$  – 947 руб. и 20 руб. (дешевле на 927 руб.), емкости  $50 \text{ м}^3$  – 2369 руб. и 40 руб. (дешевле на 2329 руб.), емкости объемом  $100 \text{ м}^3$  – 3425 руб. и 80 руб. (дешевле на 3345 руб.). На основании данных можно сделать вывод, что данная технология является не только экономичной, но и энергосберегающей.

#### **Секция 4 «Автоматизация технологических процессов АПК»**

### **ДЕФИЦИТ И БЕСПЕРЕБОЙНОСТЬ ПОДАЧИ ВОДЫ**

Гагаков Ю.В.,

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск

Основными причинами дефицита и бесперебойности подачи воды являются отсутствие достаточных мощностей водозаборных сооружений и не обеспечение оптимальных режимов работ систем подачи и распределения воды.

На рис.1.1 представлена диаграмма в разрезе регионов и населенных мест республики, характеризующая обеспеченность потребностей населенных мест в воде водозаборами подземных вод.

Целевой норматив показателя дефицита воды – процент покрытия потребностей населенных мест в воде действующими водозаборными сооружениями должен составлять 100%.

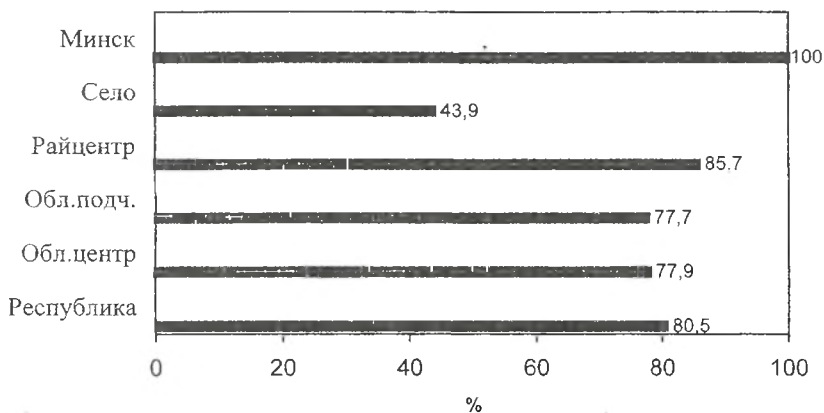


Рис.1.1 Обеспеченность потребностей в воде городских и сельских поселений водозаборами подземных вод

Технологическим показателем бесперебойности подачи воды можно рассматривать давление в диктующих точках, которое должно обеспечить свободный напор у самого высоко расположенного и удаленного прибора водоразбора потребителя. При этом данный показатель характеризует еще и наиболее экономический режим расходования воды системой.

Напор в диктующей точке  $H_q$  может быть вычислен по формуле:

$$H_q = H_{св} + \sum q_i^2 S_i + H_z, \quad (1.1)$$

где  $H_{св}$  - свободный напор в наиболее высокой и удаленной точке водоотбора, м;

$q_i$  - расчетный расход в  $\text{м}^3/\text{с}$  и  $S_i$  - гидравлическое сопротивление в  $\text{с}^2/\text{м}^5$   $i$ -го участка водопроводной сети;

$H_z$  - геометрическая высота от места установки манометра до точки водоотбора, м.

На действующей системе водоснабжения  $H_q$  можно определить экспериментально. Диапазон давлений, который свидетельствует о бесперебойной подаче воды, так же может быть вычислен и получен экспериментально.

Максимальное давление в диктующей точке  $Hq_{\max}$ . определяется из расчета подачи возможного максимального расхода воды -  $q$  в сутки максимального водопотребления по формуле (1.1), аналогично определяется и минимальное давление  $Hq_{\min}$ , при котором будет обеспечена подача минимального расхода воды  $q_{\min}$  в сутки минимального водопотребления.

На рис.1.2 изображен график, характеризующий режим работы системы в диктующих (контрольных) точках.

Обобщенный показатель бесперебойности должен характеризовать помимо величины недостаточного напора также и период, в течение которого было снижение напора. При этом, учитывая, что для разных объектов величины  $Hq_{\max}$ ,  $Hq_{\min}$ ,  $Hq_{\text{ср}}$  - различные, оценивать этот показатель необходимо в относительных единицах.

Принимая  $Hq_{\text{ср}}$  - средний напор, соответствующий среднему расходу,  $\Delta Hq_{\max}$  и  $\Delta Hq_{\min}$  - допустимые максимальное и минимальное отклонения, тогда обобщенный показатель бесперебойности  $Пб$  можно представить в виде:

$$Пб = \frac{\Delta Hq_{\min} \cdot T}{\sum (H_{\text{ср}} - Hq_{ij}^H) \cdot t_{ij}}, \quad (1.2)$$

где  $\Delta Hq_{\min}$  - минимальное допустимое отклонение снижения напора в диктующей точке, м;

$T$  - период, в течение которого оценивается бесперебойность подачи воды, ч;

$H_{\text{ср}}$  - средний напор в диктующей точке, м;

$Hq_{ij}^H$  - средний недостаточный напор в диктующей точке в интервале времени  $t_{ij}$ , м.

Величины показателя бесперебойности  $Пб$  системы можно планировать исходя из отчетных данных контроля показаний самопишущих манометров, установленных в диктующих точках.

При наличии нескольких диктующих точек в целом для системы может браться также и средняя величина, т.е.:

$$Пб(\text{сист}) = \frac{\sum Пб_i}{n}, \quad (1.3)$$

где  $Pб(сист)$  - обобщенный показатель бесперебойности для системы водоснабжения;

$Pбi$  - обобщенный показатель для  $i$ -ой диктующей точки;

$n$  - количество диктующих точек.

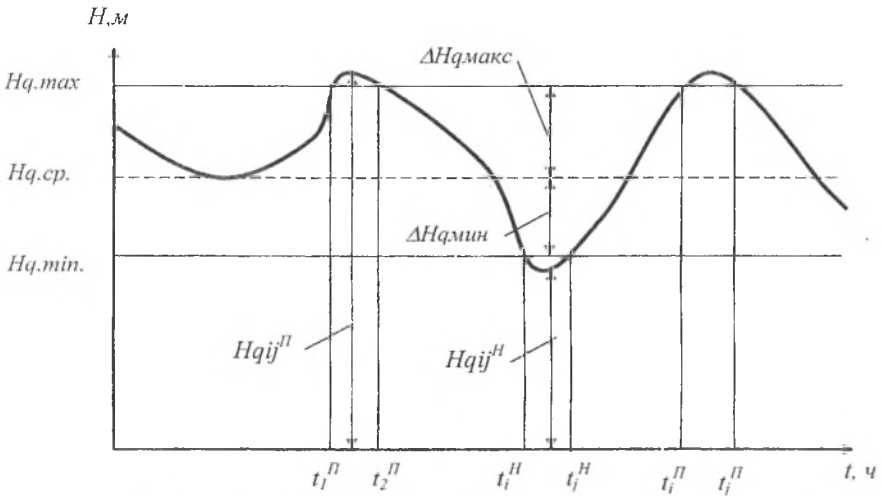


Рис. 1.2 График изменения давлений в диктующей точке.

Обобщенный показатель, характеризующий нерациональный режим работы системы, обусловленной перерасходом электроэнергии на избыточный напор, увеличение расхода воды, как потребителями, так и утечек, а так же возрастание вероятности аварии можно представить в виде:

$$Pб = \frac{\Delta Hq_{макс} T}{\sum (H_{ij}^п - H_{ср}) t_{ij}}, \quad (1.4)$$

где  $\Delta Hq_{макс}$  - максимальное допустимое отклонение напора в диктующей точке;  $T$  - период, в течение которого оценивается бесперебойность подачи воды, ч;  $H_{ср}$  - средний напор, превышающий  $Hq_{макс}$  в диктующей точке, в интервале времени  $t_{ij}$ , м.

Отклонение от принятых плановых показателей свидетельствует о "нарушении такого благоприятного режима, об имевших место перебоях в подаче воды.

#### Литература

1. Гуринович А.Д. Интенсификация работы скважинных водозаборов. - Жилищно-коммунальное хозяйство, Минск: 1982. -№ 1.- С. 5 –9.

2. Гуринович А.Д. Задачи математического моделирования скважинных водозаборов подземных вод при наладке и эксплуатации. // Математические модели и методы анализа и оптимального синтеза развивающихся трубопроводных систем. Опыт применения математических методов и ЭВМ в практике эксплуатации систем водоснабжения: Тез. докл. всесоюз. науч. семинар / СО АН СССР. - Иркутск, 1990. - С. 32 -33.

3. Гуринович А.Д., Новиков А.А. САПР водозаборных скважин // Сооружение и эксплуатация водозаборов подземных вод: Мат. науч. – семинар. /Центр. Российский дом знаний- М., 1991. –С 40-51 .

### УЧЕБНО-НАУЧНЫЙ ПОЛИГОН СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ В АГРОИНЖЕНЕРНОМ УНИВЕРСИТЕТЕ

Гируцкий И.И.

ФГОУ ВПО МГАУ им. В.П. Горячкина, г. Москва

Главным ускорителем инновационной экономики может быть только образованный специалист. Если составить список базовых терминов, понимание которых необходимо современному человеку, то в их перечне не последнее место должны занимать такие термины как: компьютер, информационная технология, микропроцессор, промышленный контроллер, автоматизированная система управления. И если с первыми двумя понятиями дело обстоит не плохо, то на вопрос, зачем нужны и как должны создаваться автоматизированные

(синонимы: микропроцессорные, информационные) системы управления производством услышать удовлетворительный ответ достаточно сложно.

В наше время значимость и объемы интеллектуального труда возрастают быстрыми темпами. Соответственно возрастают информационные потоки. В то же время возможности человека в восприятии информации не могут быть быстро и кардинально изменены. Возникает проблема адаптации современного образования к темпам и объемам современных знаний и инструментам их генерации. И здесь необходимо учитывать консерватизм человека вообще и преподавателя в частности. Сейчас принимаются новые образовательные стандарты, но консерватизм системы может привести к тому, что мы получим старый продукт, в слегка обновленной упаковке.

Современный специалист должен уметь структурировать проектные решения как в терминах аппаратного так и, главное, программного обеспечения, организации человеко-машинного интерфейса и обмена информацией между распределенными подсистемами с использованием идеологии локальных вычислительных сетей (ЛВС). В микропроцессорных системах управления сравнительно легко вводятся новые алгоритмы управления путем замены программы, без перемонтажа и замены аппаратуры. Поэтому современные ИУС представляют собой принципиально новую технологию управления, обладающую большой гибкостью и новыми возможностями в повышении эффективности производства. Такие информационно-управляющие системы имеют следующие особенности:

- характеризуются многократным (в сотни, тысячи и более раз) увеличением объемов перерабатываемой информации о состоянии объекта управления при принятии управленческих решений;
- строятся на базе микропроцессорных контроллеров общепромышленного применения, промышленных и персональных компьютеров, с встроенными вычислительными сетями, что позволяет создавать распределенные и многоуровневые системы управления;

- реализуют средствами программно-технического комплекса (ПТК) как информационно-вычислительные, так и управляющие функции (логическое и дисплейное управление, автоматическое регулирование, технологические защиты, блокировки и др.), т.е. впервые интегрированный программно-технический комплекс заменяет ранее информационно не связанные локальные подсистемы (КИП, автоматическое регулирование, дистанционное управление, технологические защиты и др.);
- основные функциональные задачи реализуются в виде прикладного программного обеспечения, при этом избыточные программно-технические возможности универсальных устройств управления можно использовать для функциональной диагностики технологического оборудования, что придает черты «интеллектуальности» системе управления и значительно повышает надежность выполнения технологических процессов.

От своевременности проведения модернизации лабораторий программно-технических средств автоматизации и переподготовки профессорско-преподавательского состава существенно зависит качество агроинженерного образования, востребованность выпускников и, в значительной мере, эффективность использования новых функциональных возможностей ИУС на предприятиях агропромышленного комплекса (рис. 1).



Рис.1.Общий вид учебно-научного полигона

# ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩАЯ СИСТЕМА ПАРОВОДОГРЕЙНОГО КОТЛА

Гируцкий И.И., ФГОУ ВПО МГАУ им. В.П. Горячкина, г. Москва

Мочальский Е.Г., ЧУП «Энтас», г. Минск

На предприятиях агропромышленного комплекса России и Белоруссии для обеспечения технологических нужд паром и горячей водой, а также обогрева административных и жилых помещений используется свыше 60000 котлов различной мощности. Типовая релейно-контактная автоматика эксплуатируемых котлов морально и физически устарела. Поэтому актуальной является задача модернизации систем управления паровыми котлами типа ДЕ, ДКВР, КВГМ, ПТВМ, в том числе котлами, работающими в водогрейном режиме на базе современной микропроцессорной техники.

Использование для этих целей микропроцессорных контроллеров общепромышленного применения, обладающих развитыми системами программирования и открытой архитектурой позволяет в короткие сроки при незначительных капитальных затратах осуществлять высокоэффективную модернизацию действующих котлов.

При этом необходимо учитывать особенности эксплуатации пароводогрейных котлов, обеспечивающих технологические потребности предприятий производящих и перерабатывающих сельскохозяйственную продукцию. К главным особенностям следует отнести нестационарный характер нагрузки, обусловленный спецификой биотехнического объекта управления.

Разработанная информационно-управляющая система предназначена для организации процесса эффективного сжигания и экономии топлива при производстве тепловой энергии и пара для технологических нужд, теплоснабжения и обеспечения производства горячей водой. Система выполнена в соответствии с правилами устройства безопасной эксплуатации

паровых и водогрейных котлов (ПУБЭ М 0.00.1.08-96); методикой выполнения автоматического контроля герметичности запорных устройств перед горелками с единичной паспортной мощностью более 100кВт, устанавливаемых на котлах и промышленных газоиспользующих установках (ВМ 44-04); СНиП II-35-76. Внедрение системы управления повышает эффективность функционирования котла, в том числе: снижает потребление энергоресурсов, улучшает экологические условия эксплуатации котельной, повышает производительность оборудования, снижает влияние человеческого фактора в производственном процессе, повышает надежность, повышает оперативность управления технологическим процессом, повышает культуру производства.

Система управления котлом разбита на 11 подсистем (рис.).

Реализация алгоритма управления осуществлена с использованием компьютеризированного панель-контроллера общепромышленного применения РР-41. Моноблочное соединение панели оператора и собственно контроллера упрощает процесс программирования, как управляющих, так и информационных функций микропроцессорной системы. Прикладная программа разработана на алгоритмическом языке Automation Basic в системе программирования Automation Studio

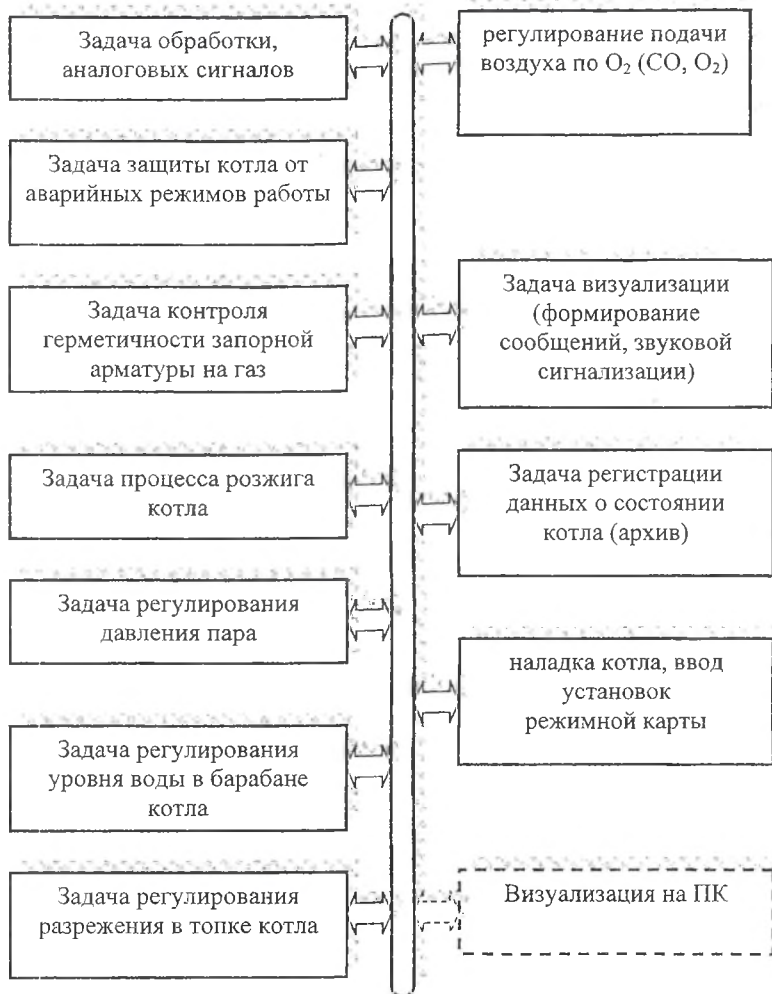


Рис. Структурная схема алгоритма работы микропроцессорной системы управления котлом

При регулировании подачи воздуха в котлах, работающих на жидком и газообразном топливе, значительную эффективность дают методы адаптивного управления. При этом в качестве критерия эффективности использован

максимум к.п.д., который для водогрейного режима котла работы может быть записан в следующем виде

$$\eta = K_p R_p \frac{T_{\text{вых}} - T_{\text{пов}}}{R_T} \%,$$

где  $K_p = \frac{4,2 \cdot 10^8}{Q_p}$ ;  $Q_p$  - располагаемая теплота на 1 кг жидкого или м<sup>3</sup> газообразного топлива, кДж/кг или кДж/м<sup>3</sup>;  $R_p$  - производительность водогрейного котла, кг/сек;  $R_T$  - расход топлива, кг/сек или м<sup>3</sup>/сек;  $T_{\text{вых}}, T_{\text{пов}}$  - температура воды на выходе и входе водогрейного котла, °С.

Результаты промышленной эксплуатации разработанной системы для котла ДЕ-6,5-14ГМ, который предназначен для выработки пара для технологических нужд производства предприятия ОАО «Климовичский комбинат хлебопродуктов» показали ее высокую экономическую эффективность и надежность.

## РЕГУЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ДРОБИЛОК И ПЛЮЩИЛОК ЗЕРНА

Дайнеко В.А., Прищелова Е.М.

УО Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск

В таких технологических процессах, как дробление и плющение зерна, регулируемый электропривод обеспечивает снижение удельного расхода электроэнергии. В большинстве существующих дробилок и плющилок их производительность изменяется без учета физических свойств измельчаемого продукта (влажности, плотности). Производительность измельчающих агрегатов регулируют изменением количества материала, подаваемого в зону дробления (плющения).

При постоянном изменении сечения выпускного отверстия питателя дробилки интенсивность поступления продукта лежит в широких пределах; в таких же пределах колеблется и мощность воспринимаемая рабочей машиной; с её изменением меняется и мощность, отдаваемая электродвигателем.

Применение в системах управления загрузкой шнековых питателей с частотно – регулируемым приводом взамен задвижек, изменяющих сечение отверстия питателя, позволяет обеспечить плавное регулирование производительности машины. Кроме того, упрощается задача автоматизации технологического процесса дробления, так как современные преобразователи частоты имеют встроенные ПИД-регуляторы. Потребность в регулировании возникает в связи с необходимостью предотвращения завалов и технологических перегрузок, а также стремлением обеспечить оптимальные режимы ведения процесса обработки материала.

Потребляемая мощность и расход электроэнергии на единицу перерабатываемой продукции зависят от вида перерабатываемого продукта, подачи и коэффициента полезного действия электродвигателя и машины. Последние два параметра зависят от степени загрузки машины. Поэтому необходимо обеспечить такую подачу продукта, при которой машина была бы загружена на номинальную мощность с наибольшим коэффициентом полезного действия и коэффициентом мощности и, следовательно, с наименьшим расходом электроэнергии на единицу перерабатываемой продукции при одновременном сокращении продолжительности работы в течение суток.

На энергетiku процесса измельчения сырья оказывают большое влияние его физико-механические свойства, степень измельчения, количество материала, поступающего в рабочую камеру и другие факторы. Для любого сочетания факторов существуют экономичные режимы работы дробилок. В связи с этим целесообразно в каждом случае выбирать оптимальное значение загрузки дробилки. Это можно сделать в результате рассмотрения совместной работы электродвигателя и рабочей машины.

В связи с вышесказанным автоматическое управление работой дробилки может быть предназначено для выполнения двух задач:

- 3) стабилизация загрузки дробилки с целью защиты от технологических перегрузок и завалов;
- 4) оптимизация режимов работы дробилок.

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ПЛЮЩЕНИЯ И ДРОБЛЕНИЯ ЗЕРНА

Дайнеко В.А., Сибиркин Д.В., Шаукат И.Н., Прищепова Е.М.

УО Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск

Дробление и плющение зерна - самые распространенные и важные операции в технологическом процессе подготовки кормов к скармливанию сельскохозяйственным животным, обусловленные требованиями физиологии их кормления. Так как питательные вещества усваиваются организмом животного только в растворенном виде, то скорость обработки частиц корма желудочным соком прямо пропорционально их поверхности. В результате дробления и плющения зерна образуется множество частиц с большой общей площадью поверхности, что способствует ускорению пищеварения и повышению усвояемости питательных веществ.

Дробление и плющение зерна необходимо проводить до крупности или толщины частиц, которая рекомендуется для данного комбикорма с учетом вида, назначения и возрастной группы животных. При любой крупности или толщины размола или плющения качество комбикормов считается тем выше, чем однороднее по крупности или толщине частицы готового продукта и чем меньше в них пылевидных частиц.

Энергоемкость процесса измельчения и качество конечного продукта – две основные составляющие рассматриваемой проблемы приготовления кормов: получение продукта соответствующего зоотехническим требованиям с минимально возможными энергетическими затратами. В настоящее время при решении этой проблемы значительное внимание уделяется оптимизации конструктивных параметров дробилок и плющилок зерна (рабочей камере, деке, молоткам, решетам, вальцам и т. д.). Повышение эффективности работы дробилок и плющилок зерна возможно также путем совершенствования системы управле-

ния технологическим процессом плющения и дробления зерна и оптимизации режимов ее работы.

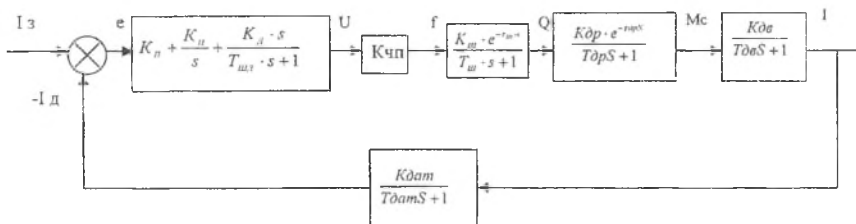


Рисунок 1 Структурная схема системы стабилизации загрузки зернодробилки

Зернодробилки и плющилки являются сложными объектами и определение оптимальных алгоритмов управления, которые применяются в случае линейных математических моделей, невозможно. В нашем случае система управления является нелинейной. Поэтому оптимальные параметры целесообразно определить посредством моделирования. Для среды моделирования был выбран пакет прикладных программ MATLAB, который имеет все необходимые для нашей модели математические функции, имеет встроенную среду моделирования Simulink и инструменты для оптимизации систем управления.

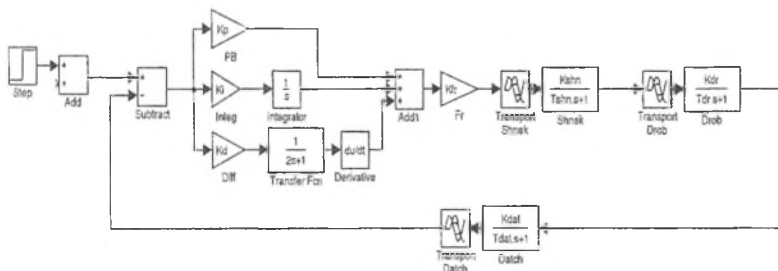


Рисунок 2 Структурная схема системы стабилизации загрузки дробилки представленная в Simulink

Элемент сравнения описывается элементом Subtract. ПИД-регулятор представлен элементами PB, Integ, Integrator, Diff, Transfer Fcn, Derivative и Add1 представляют. Частотный преобразователь представлен элементом Fr. Шнек с

электроприводом представлен элементами Transport Shnek и Shnek. Дробилку представляют элементы Transport Drob и Drob.

Параметры передаточных функций частотного преобразователя, шнека, дробилки и датчика определены по результатам эксперимента и аналитическим путем, представлены в таблице 1.

Таблица 1 Коэффициенты передаточных функций преобразователя частоты, шнека, дробилки и датчика.

Kfr	Tshn	Kshn	Tashn	Tdr	Kdr	Tadr	Tdat	Kdat	Tadat
3.125 Гц/мА	10 с	2,18 кг/Гц*с	3 с	15 с	0,6 А*с/кг	2,5 с	0,5 с	1 А	0,5 с

Параметры  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$  определяются с помощью оптимизатора.

Результат работы оптимизатора представлен на рисунке 3.



Рисунок 3 Экран работающего оптимизатора.

Оптимизатор методом поиска просчитывает переходные процессы в замкнутой системе управления по изменению задающего воздействия и, когда переходной процесс будет соответствовать заданным границам (черные полосы на рис.3), процесс оптимизации завершается.

Выходной сигнал оптимизатора поступает на вход преобразователя частоты, управляющего электроприводом загрузочного устройства дробилки или плющилки.

## РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ НАСТРОЙКИ ПИД-РЕГУЛЯТОРА ЭЛЕКТРОПРИВОДА ДРОБИЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ

Дайнеко В.А., Сибиркин Д.В., Шаукат И.Н, Прищепова Е.М.

УО Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск

В математической модели САУ дробильный агрегат можно представить в виде аperiodического звена первого порядка с чистым запаздыванием.

Для привода дробилки используется асинхронный трехфазный электродвигатель переменного тока, который имеет нелинейную механическую характеристику. Эта характеристика на рабочем участке является достаточно жесткой, поэтому изменение частоты вращения электродвигателя не превышает 2%, и им можно пренебречь в номинальном режиме. Тогда в номинальном режиме работы дробилки асинхронный трехфазный электродвигатель будет представлен аperiodическим звеном первого порядка.

$$W_{\partial\partial}(s) = \frac{K_{\partial\partial}}{T_{\partial\partial} \cdot s + 1}, \quad (1)$$

где  $K_{\partial\partial}$  – коэффициент пропорциональности двигателя, А/Н·м;  $T_{\partial\partial}$  – постоянная времени электродвигателя, сек.

Коэффициент пропорциональности двигателя определяется из отношения

$$K_{\partial\partial} = \frac{I_{н,л}}{M_n}, \quad (2)$$

где  $I_{н,л}$  – номинальный линейный ток двигателя по паспорту, А;  $M_n$  – номинальный момент двигателя, Н·м.

$$M_n = \frac{I_{н,л} \cdot U_{н,л}}{\sqrt{3} \cdot \omega_n} \cdot \cos(\varphi_n) \cdot \eta_n, \quad (3)$$

где  $U_{н,л}$  – номинальное линейное напряжение, В;  $\cos(\varphi_n)$  – номинальный косинус,  $\eta_n$  – номинальный КПД двигателя.

Данные для вычисления берутся по паспорту электродвигателя. Постоянная времени двигателя  $T_{дв}$  определяется экспериментальным путем. Предположительно  $T_{дв}=0,2..1,5$  сек. По полученному графику переходного процесса определяют постоянную времени двигателя  $T_{дв}$ :

$$T_{дв} = \frac{T_{ПП}}{6}, \quad (4)$$

где  $T_{ПП}$  - время переходного процесса.

Математическая модель дробилки представляет собой сложную характеристику, зависящую от многих факторов – влажности, вида и сорта зерна, изношенности рабочих органов, частоты вращения дробилки. При стабилизации эти факторов предполагается, что математическая модель дробилки будет аппроксимироваться аperiodическим звеном первого порядка с чистым запаздыванием.

$$W_{др}(S) = \frac{K_{др} e^{-\tau_{др}S}}{T_{др}S + 1} \quad (5)$$

где  $K_{др}$  – коэффициент пропорциональности дробилки, Н·м/т/ч;  $\tau_{др}$  – постоянная запаздывания, сек;  $T_{др}$  – постоянная времени, сек.

Так как на практике трудно определить параметры передаточных функций электродвигателя и дробилки, то в дальнейшем будем рассматривать совмещенную передаточную функцию электродвигателя и дробилки. Тогда передаточная функция равна

$$W_{др}(S) = \frac{K_{др} e^{-\tau_{др}S}}{T_{др}S + 1}, \quad (6)$$

где  $K_{др}$  – коэффициент пропорциональности дробилки, А/т/ч.

Для получения экспериментальных данных необходимо запустить дробилку на холостом ходу, измерить линейный ток электродвигателя на холостом ходу, включить шнековый транспортер и на дробилку подать зерно, одновременно с помощью самописца или электронного устройства записать показания линейного тока электродвигателя, фиксировать момент подачи зерна в дробилку,

как точку отсчета для переходной характеристики, через 10 минут выключить подачу зерна, фиксировать момент прекращения подачи зерна в дробилку, как точку отсчета для переходной характеристики, через 10 мин включить подачу зерна и повторить опыт. Опыт проводится 5 раз. После чего взвешивается продукт дробления с учетом материала вынутого из дробилки, получается суммарная масса дробленого зерна  $M_з$ . По диаграмме подачи зерна определяют суммарное время подачи зерна  $T_{сум}$ . По времени  $T_{сум}$  и массе продукта  $M_з$  определяется средняя производительность дробилки  $Q_{ср}$ :

$$Q_{ср} = \frac{M_з}{T_{сум}}, \quad (7)$$

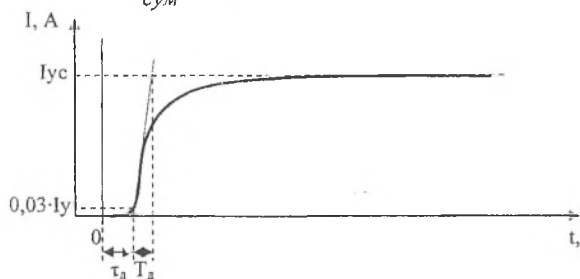


Рисунок 2 – Переходная характеристика при изменении загрузки с холостого хода до номинальной величины.

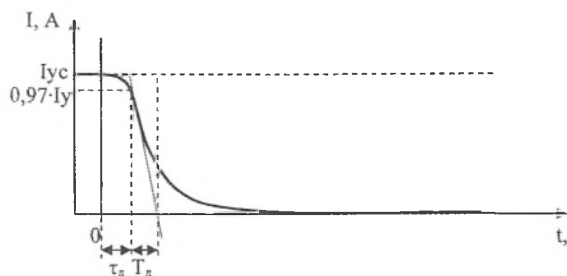


Рисунок 3 – Переходная характеристика при изменении загрузки с номинальной величины до холостого хода дробилки.

$$K_{др} = \frac{\Delta I_{н,л}}{Q_{ср}}, \quad (8)$$

Полученные десять значений каждого параметра усредняют. ПИД-регулятор оптимально подходит для управления объектом, который аппроксимируется апериодическим звеном первого порядка с чистым запаздыванием, если  $\frac{\tau_{др}}{T_{др}} < 0,2$ .

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СВИНОВОДСТВЕ

Жур А.А.

УО Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск

До настоящего времени развитие сельскохозяйственного производства происходило главным образом путем изменения энергетической базы, совершенствования применяемых машинных технологий, достижений генетики, улучшения кормления животных, применения удобрений и средств защиты растений. Предполагается, что начало XXI века будет переходом от энергетики к информатике. Например, ожидается, что соотношение трудовых ресурсов в материальном производстве и в сфере информации, составляющее в середине XX века 3:1, коренным образом изменится и составит уже в ближайшем будущем как 1:3.

Необходимость уменьшения техногенных нагрузок в сельском хозяйстве, воздействий применяемых технологий на окружающую среду, а также повышение безопасности продуктов питания в процессе их производства - основные факторы, повышающие значимость информационных технологий. Существенное ускорение информатизации сельского хозяйства - ключевой фактор его будущего устойчивого развития.

В Беларуси функционирует свыше 100 свиноводческих комплексов с промышленной технологией производства. В принципе, в эти технологии были заложены передовые идеи: непрерывное поточное производство, межпородное скрещивание, кормление на основе полнорационных комбикормов и др. Но, на

практике, потенциал этих идей был реализован далеко не полностью в силу несовершенства принятых систем управления.

Одной из существенных причин высокой себестоимости продукции свиноводства является несоблюдение зоотехнических требований к параметрам кормления и условий содержания животных. Поэтому актуальной задачей является модернизация систем управления технологическими процессами на базе современной микропроцессорной техники.

Нами разработана и внедрена на ряде свиноводческих комплексов Беларуси автоматизированная система управления технологическими процессами приготовления и раздачи жидких кормов (АСУТП ЖК).

Основой системы управления является микропроцессорный контроллер общепромышленного применения (рис.). В качестве устройств управления используются компьютеризированные контроллеры и модули австрийской фирмы V&R. Применение микропроцессорной техники в системах управления кормления животных на свиноводческих комплексах позволяет значительно увеличить объем обрабатываемой информации.

К примеру, если в типовой релейно-контактной системе для контроля выдачи дозы используется только 2 бита информации от датчиков верхнего и нижнего уровня дозатора, то в микропроцессорной системе используется 144 байта. Объем входной управляющей информации составляет 52 бита, т.е. 36 входных дискретных сигнала от датчиков конечного положения и два аналоговых сигнала от расходомера корма и раздаточной тележки.

В процессе выполнения технологических процессов кормления животных на дисплей пульта оператора выводится информация о ходе выполнения технологического процесса и возможных неисправностях технологического оборудования.

Немаловажным, в условиях ограниченных ресурсов, является обеспечение эффективности разработки, причем кроме чисто экономических показателей

надо рассматривать социальные и экологические результаты компьютеризации производства свинины.

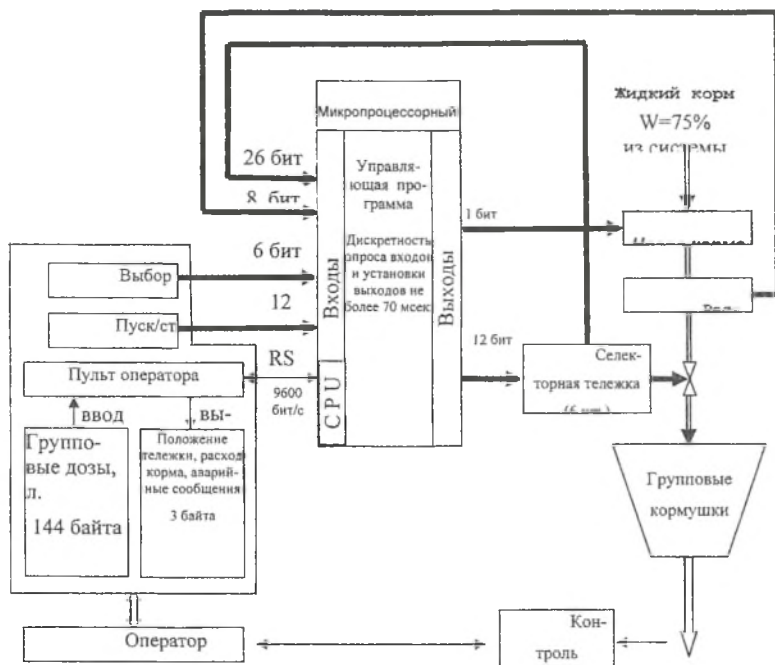


Рисунок - Информационно-управляющая структура АСУТП ЖК.

Выводы:

1. Информационные технологии - важный ресурс низко затратного, устойчивого производства продуктов питания и сырья для промышленности, повышения качества и безопасности продуктов питания, уменьшения техногенной нагрузки на окружающую среду, снижения потерь в процессе производства сельскохозяйственной продукции.

2. Сельское хозяйство - идеальная среда для применения информационных технологий, но недостаточность финансовых средств в сфере аграрной науки развивающихся стран пока не дает возможности для широкого применения современных информационных технологий.

3. Внедрение информационных технологий в свиноводстве позволяет упорядочить процесс кормления животных и тем самым повысить эффективность использования кормов при производстве продукции животноводства.

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОДОПОДГОТОВКИ**

Крутов А.В., Галах Д.В

УО Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск

При современном состоянии энергетики нашей страны возникает необходимость снижения энергозатрат различных производственных процессов. Одним из общепризнанных мероприятий в этом направлении является снижение накипеобразования в теплообменных аппаратах. Поскольку отложение накипи приводит к уменьшению коэффициента теплопроводности через стенки котлов, бойлеров и другого теплообменного оборудования, то в результате происходит перерасход топлива. Так, при накипи толщиной в 3 мм снижается теплоотдача на 25%, что приводит к соответствующим потерям энергии. Для борьбы с данной проблемой уже более пятидесяти лет применяются аппараты магнитной обработки воды. Разработан и промышленно выпускается большой ассортимент аппаратов для магнитной водоподготовки. Такие установки позволяют снизить и даже полностью предотвратить отложение накипи на поверхностях теплообменных аппаратов и трубопроводной арматуры.

Однако повсеместному применению аппаратов магнитной обработки воды мешает недостаточная изученность механизма воздействия магнитного поля на водные системы. Аппараты, дающие максимальный эффект для воды с определенными параметрами, могут оказаться бесполезны для вод с другими значениями этих параметров. Некоторые аппараты магнитной обработки воды, например серии АМО, позволяют в определенной степени регулировать напряженность создаваемого ими магнитного поля, однако в небольших пределах и только вручную. Аппараты на постоянных магнитах вообще не предусматри-

вают изменения напряженности создаваемого магнитного поля в зависимости от обрабатываемой воды. Поэтому мы считаем целесообразным создание автоматизированной системы управления водоподготовкой на базе аналога уже существующего аппарата электромагнитной обработки воды. Такая система позволит производить подбор оптимальных параметров электромагнитного поля в

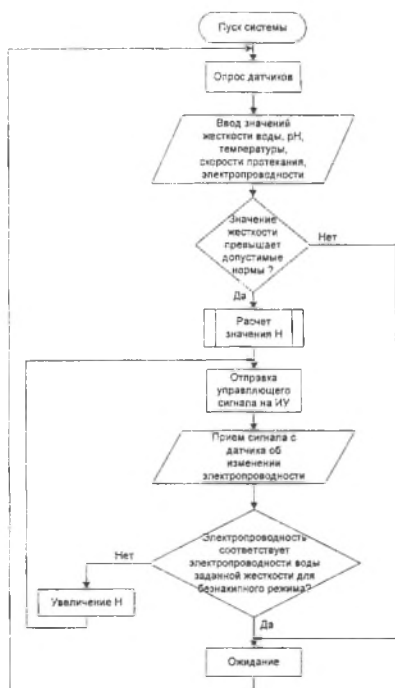


Рисунок 1. Алгоритм работы автоматизированной системы управления электромагнитной водоподготовкой.

зависимости от свойств водной системы. Структура разрабатываемой системы приводилась нами в других публикациях. На рисунке 1 представлен алгоритм работы системы.

Основным элементом системы является микроконтроллер с установленной на нем программой расчета значения напряженности в зависимости от параметров исходной воды. По рассчитанному значению напряженности определяется величина тока в обмотках электромагнитного аппарата, и полученная величина передается на блок питания аппарата.

Для обеспечения обратной связи на выходе установки установлен датчик электропроводности воды. По изменению электропроводности будет определяться эффективность воздействия и, при необходимости, уточняться значение управляющего воздействия – напряженности магнитного поля.

Основная трудность при реализации данной АСУ – создание эффективного алгоритма расчета значений напряженности поля в зависимости от параметров воды. Предполагается разработать его на базе эмпирической модели процесса

электромагнитной обработки водных систем, работа над которой ведется в настоящее время.

#### Лигература

1. Классен В. И. Омагничивание водных систем. - М.: Химия, 1982. – 296с.
2. А.В. Крутов, Д.В. Галах. Электромагнитная водоподготовка в котельных установках – эффективный способ снижения выбросов в окружающую среду // Современные технологии и комплексы технических средств в сельскохозяйственном производстве. Материалы международной научно-практической конференции. – Мн.: БГАТУ, 2005. С. 194-195.
3. Деев Л.В., Балахничев Н.А. Котельные установки и их обслуживание. - М.: Высш. шк., 1990. – 239 с.

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ОТОПИТЕЛЬНО-ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ СИСТЕМЫ СВИНАРНИКА-ОТКОРМОЧНИКА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ**

Кучинский А.Ю.

УО Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск

Республика Беларусь является страной, где большое внимание уделяют производству продукции животноводства. Одним из основных направлений животноводства в нашей республике является производство свинины. Повышение эффективности этой отрасли требует тщательной оценки влияния различных факторов, а также изучения их взаимодействия. Рентабельность производства свинины определяется скоростью роста свиней. Чем выше скорость роста, тем быстрее мы получаем требуемую массу и соответственно прибыль. Установлено, что прирост на 60 % зависит от правильного кормления, на 20 % от микроклимата и на 20 % от генетических свойств животных. Следовательно, кормление и микроклимат – наиболее сложные и дорогостоящие процессы, которые на 80 % обеспечивают ус-

пех производства свинины. Поэтому на информатизацию именно этих процессов должно быть направлено основное внимание.

Основными достоинствами микропроцессорных систем по сравнению с традиционными, основанными на релейно-контактных схемах, являются:

- независимость характеристик от условий окружающей среды;
- пониженное энергопотребление;
- большая точность;
- надежность;
- возможность объединения в локальную сеть, что особенно важно при

взаимосвязанном управлении несколькими технологическими процессами.

Для построения адекватной системы управления технологическими процессами при откорме свиней необходимо разработать соответствующее математическое описание этих процессов. На основании обобщения теоретических и экспериментальных исследований была разработана математическая модель откорма свиней, учитывающая уровень кормления и параметры микроклимата. Поскольку максимальные затраты при откорме приходятся на холодный период года, то все расчеты велись для холодного времени года. Основные показатели математической модели: нижняя критическая температура, тепловыделения свиньями; суточный привес; цены на корма, тепловую энергию и мясо; уровень кормления; число свиней в помещении, величина воздухообмена и др. На основании математической модели в электронных таблицах Microsoft Excel была построена численная модель откорма свиней. Численная модель позволяет получить экономические показатели процесса откорма свиней. В качестве критерия оптимальности принялась рентабельность откорма.

При помощи этой модели была построена зависимость рентабельности откорма от количества свиней в помещении (рис.1) при различных вариантах откорма:

1. Поддерживается постоянный уровень кормления  $\alpha=2,8$  и постоянная температура внутреннего воздуха  $t_{вн}=16^{\circ}\text{C}$ .

2. Поддерживается постоянный уровень кормления  $\alpha=2,8$  и нижняя критическая температура для данного уровня кормления.

3. Уровень кормления выбирается таким, чтобы рентабельность откорма была максимальной, температура внутреннего воздуха равна нижней критической для данного уровня кормления.

Как видно из рисунка, максимальная рентабельность будет при третьем варианте откорма, т.е. когда уровень кормления выбирается исходя из экономической целесообразности. Причем рентабельность откорма изменяется в зависимости от количества свиней в помещении. Похожие зависимости можно проследить при изменении других факторов, влияющих на экономическую эффективность откорма: цен на корма, тепловую и электроэнергию и других факторов. Все эти факторы необходимо учитывать при откорме свиней.

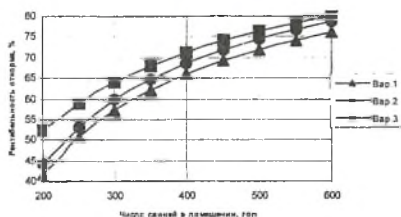


Рис.1. Зависимость рентабельности откорма свиней от количества свиней в помещении при различных вариантах откорма

Для правильной оценки хода технологических процессов и последующей их корректировки важно иметь данные о протекании технологических процессов. Для этого необходимо иметь возможность записи параметров технологических процессов. Микропроцессорные системы управления технологическими процессами позволяют осуществлять запись параметров технологических процессов, не прерывая их.

Таким образом, микропроцессорные системы управления технологическими процессами позволяют управлять наиболее сложными процессами с учетом многих факторов, влияющих на протекание этих процессов, а также произво-

дить запись текущих параметров в собственную память для дальнейшего их анализа.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДАТЧИКА НЕПОЛНОФАЗНОГО РЕЖИМА ДЛЯ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ ЗАЩИТЫ

Лавцевич Е.В.

УО Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск

Средний срок службы электродвигателей в сельском хозяйстве колеблется от 1,3 до 3,5 года вместо требуемого минимума 7...8 лет. Это позволяет заключить об их низкой эксплуатационной надежности.

Повысить эксплуатационную надежность электродвигателей можно рядом технических и организационных мероприятий, в числе которых важное значение имеет использование устройств защиты электродвигателей.

Контролем одного из параметров нельзя обеспечить полную защиту электродвигателей от аварийных режимов работы, поэтому перспективные универсальные устройства защиты электродвигателей должны строиться на прогрессивном в технике модульном принципе. Микропроцессорная защита должна получать сигналы о неполнофазном режиме сети, обратном чередовании фаз сети, недопустимом снижении сопротивления изоляции обмоток двигателя и о токе двигателя.

Неполнофазный режим работы трехфазных электродвигателей встречается в сельскохозяйственных установках наиболее часто.

Основные принципы защиты трехфазного электродвигателя от неполнофазного режима работы следующие [1]:

- 1 – по напряжению нулевой последовательности;
- 2 – по минимальному линейному или фазному напряжению;
- 3 – по минимальному линейному току (по наличию тока фаз);
- 4 – по напряжению или току обратной последовательности;
- 5 – по фазовому углу между двумя напряжению (ФУЗ);

6 – по контролю постоянной составляющей в кривой напряжения однополупериодного трехфазного выпрямителя.

Принцип защиты по напряжению нулевой последовательности является наиболее простым. Он был исследован по схеме рис. 1а. Датчик напряжения нулевой последовательности (ДННП) состоит из трех резисторов, присоединяемых к фазам сети и образующих нулевую точку. Между точкой О и N образуется контролируемое напряжение смещения (рис 1б).

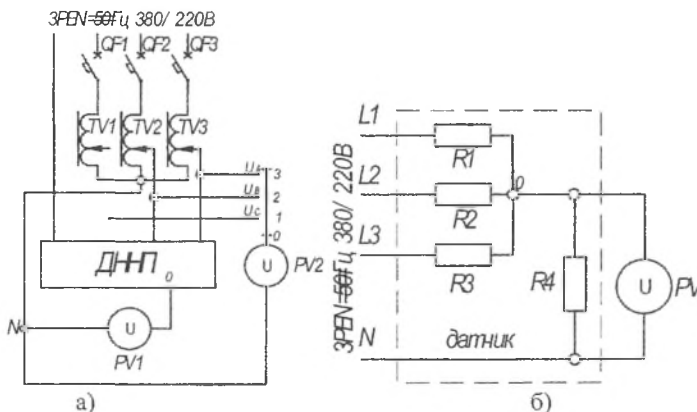


Рис. 1 Принципиальная электрическая установка для исследования датчика напряжения нулевой последовательности (а) и принципиальная электрическая схема датчика напряжения нулевой последовательности (б).

По результатам исследования построен график (рисунок 3).

Также была исследована схема ДННП при работе с электродвигателем. Исследовалось влияние индуцируемой ЭДС на величину напряжения смещения. Принципиальная схема установки приведена на рисунке 2, а результаты опытов на рисунке 3.

#### Выводы

1. ДННП при реальной несимметрии напряжения в сети имеет на выходе напряжение до 30 В.

2. ДННП при обрыве фазы реальной сети имеет напряжение от 125 В (двигатель не включен) до 60 В (двигатель включен).

3. ДННП имеет минимальное количество элементов и отличается простой схемой.

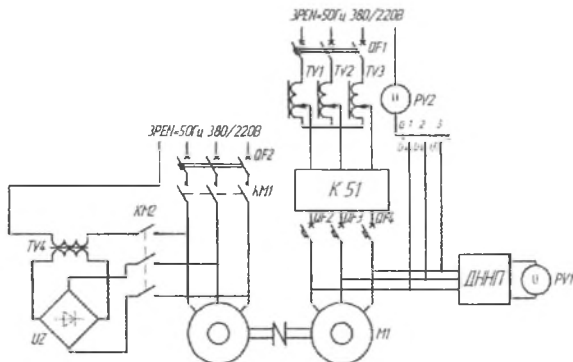


Рис.2 – Принципиальная схема установки для исследования ДННП с электродвигателем.

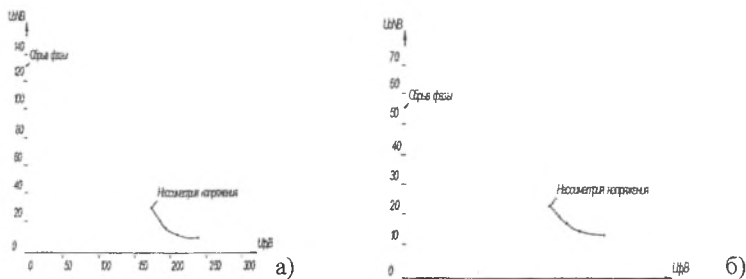


Рис.3 Изменение напряжения нулевой последовательности от фазного напряжения сети без влияния электродвигателя (а) и с влиянием работающего электродвигателя (б). На основании исследования разработан ДННП для микропроцессорной защиты.

#### Литература

1. Грундулис А.О. Защита электродвигателей в сельском хозяйстве. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1988.- 111с.

## АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДОУВЛАЖНЕНИЯ ЗЕРНА ПЕРЕД ПОМОЛОМ

Лисовский В.В., Басюк Е.И., Булко М.И., Матвеев В.В.

УО Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск

Одним из основных процессов подготовки зерна к помолу, качественно улучшающих его продовольственное использование, является гидротермическая обработка зерна (температурное увлажнение). Применение кондиционирования зерна дает существенный комплексный производственный эффект: технологический, энергетический и экономический.

В процессе технологического увлажнения и последующего отволаживания зерна на мельницах облегчается отделение его оболочек, увеличивается выход крупок (в драном процессе) и зольность отрубей, в результате чего увеличивается показатель белизны, выход муки, уменьшается ее зольность, улучшается качество клейковины. На хлебозаводах, которые перерабатывают такую муку, оптимизируется технологический процесс, увеличивается объемный выход хлеба, улучшаются его структура мякиша и цвет.

Гидротермическая обработка вызывает распатывание его структуры и уменьшение силы корпускулярных связей, что облегчает дробление зерна.

Энергетический эффект заключается в том, что удельные затраты электроэнергии на производство муки уменьшаются при холодном кондиционировании – на 5–10%, при горячем – до 15% [ 1 ] .

Экономический эффект заключается в том, что уменьшаются затраты на производство муки, увеличивается ее выход, повышается качество хлебопекарных показателей, что в целом способствует поднятию конкурентоспособности производства муки [ 1 ] .

Указанные эффекты достигаются только в том случае, если обеспечиваются оптимальные режимы гидротермической обработки зерна. А это достигается только с помощью автоматизации процесса увлажнения зерна, Существующую

шие методы и средства такой оптимизации недостаточно эффективны и не отвечают современным требованиям подготовки зерна и качественному размолу.

Так ручное регулирование процесса увлажнения в совокупности с лабораторным контролем влажности зерна не позволяют обеспечить его подачу на первую драную систему зерна заданной влажности. В результате погрешность измерения влажности достигает существенной величины, что резко снижает качество регулирования процесса размола зерна.

Сегодня на передовых предприятиях мукомольной промышленности применяются автоматические системы увлажнения и отволаживания зерна как отечественного, так и зарубежного производства.

В настоящее время известные методы гидротермической обработки зерна (ГТО) - это комплекс операций с зерном, цель которого заключается в направленном увеличении разницы сопротивления разрушающим усилиям оболочек и эндосперма зерна. При этом на мукомольном заводе ГТО проводят так, чтобы снизить сопротивление разрушающим усилиям эндосперма и повысить эластичность и прочность оболочек. Чем больше будет получена при ГТО разница в сопротивлении размалывающим усилиям у эндосперма и оболочек, тем выше эффективность переработки зерна в муку.

Под процессом ГТО понимается воздействие на зерно воды и температуры в течение определенного времени. Задача инженера-технолога состоит в оптимальном сочетании перечисленных воздействий с тем, чтобы обеспечить максимальную технологическую и экономическую эффективность переработки зерна в муку. Для этого необходимо знать особенности взаимодействия зерна с водой во времени и в различных температурных условиях.

В первые несколько секунд зерно интенсивно поглощает влагу. Этот первоначальный захват воды осуществляется плодовыми оболочками, которые имеют большое количество пустот, пор и капилляров. В последующий промежуток времени вода перемещается в семенные оболочки, зародыш и алейроновый слой. Здесь вода прочно удерживается, что предотвращает ее потери в ат-

мосферу. Дальнейшее перемещение воды направлено внутрь эндосперма. Скорость переноса влаги в эндосперм резко уменьшается. Перемещение влаги по эндосперму сопровождается образованием большого количества микротрещин, что разрыхляет эндосперм и увеличивает его размалываемость.

Биохимические процессы, протекающие в зерне при увлажнении и отволаживании, также влияют на степень разрыхления эндосперма, главным образом благодаря гидролизу биополимеров. Из-за образования микротрещин в эндосперме при ГТО исходная стекловидность резко уменьшается. Большое влияние на процесс влагопереноса в зерне во времени оказывает температура воды.

При проведении гидротермической обработки очень важно, чтобы при увлажнении зерна вода равномерно распределялась по отдельным зерновкам зерновой массы. Недооценка этого обстоятельства приводит к тому, что отдельные зерновки захватывают большое количество воды, а другие не увлажняются совсем. Это приводит к снижению эффективности ГТО.

Для равномерного увлажнения зерновой массы воду в нее подают в распыленном состоянии, после чего зерновую массу тщательно перемешивают. На современных заводах применяют увлажнительные аппараты А1-БУЗ и А1-БАЗ [1].

Увлажнительный аппарат А1-БУЗ применяют для основного увлажнения, он обеспечивает расход воды до 300 литров в час. Для дополнительного доувлажнения зерна перед первой драной системой применяют увлажнительный аппарат А1-БАЗ, расход воды которого до 50 литров в час. Увлажнительные аппараты А1-БУЗ и А1-БАЗ имеют одинаковый принцип действия и аналогичное устройство. Они отличаются системой распыления воды. Увлажнительный аппарат А1-БУЗ имеет следующие основные узлы: индикатор наличия зерна; форсунку, соединенную с системой подачи и контроля расхода воды, и шнексмеситель. Предусмотрено автоматическое устройство, отключающее воду в случае прекращения подачи зерна. Элементы системы, обеспечивающие подачу воды, смонтированы на панели, которая размещается в непосредственной бли-

зости от аппарата. На рис. 2 схематично изображен аппарат для увлажнения зерна А1-БУЗ.

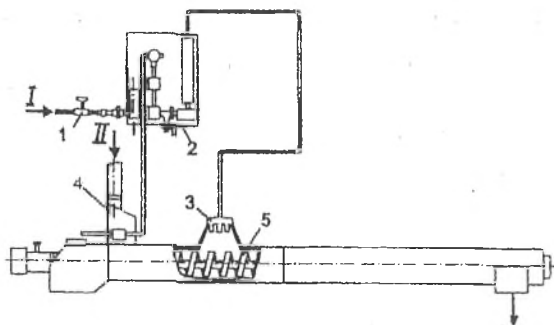


Рис. 1. Аппарат для увлажнения зерна А1-БУЗ.

Зерно поступает через индикатор наличия зерна в шнек, где увлажняется водой, подающейся форсункой под давлением. Увлажненное зерно перемешивается в шнеке-смесителе и поступает на дальнейший размол.

Для лучшего распыления воды в аппаратах А1-БАЗ применяют компрессоры для подачи сжатого воздуха. Для интенсификации ввода влаги в зерновую массу на основном этапе увлажнения можно использовать машины для интенсивного увлажнения зерна типа А1-БШУ-2, перед первой драной системой используют машины для интенсивного увлажнения А1-БШУ-1.

Конструктивно эти машины отличаются только длиной ротора с лопатками. На рис. 3 изображена машина для интенсивного увлажнения А1-БШУ-2.

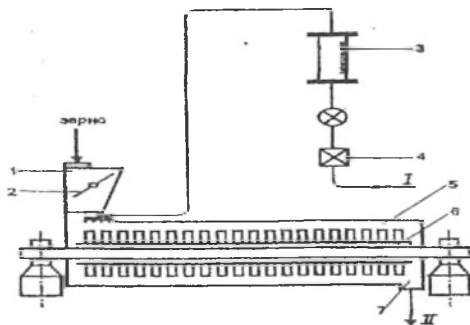


Рис. 2. Машина для интенсивного увлажнения А1-БШУ-2.

1 - приемный патрубок; 2 - заслонка индикатора наличия зерна; 3 - ротаметр; 4 - регулятор подачи воды; 5 - корпус шнека; 6 - ротор с гонками; 7 - выпускной патрубок; I - подача воды; II - выход продукта.

Зерно поступает в машину через приемный патрубок индикатора наличия зерна. Подача воды осуществляется в месте поступления зерна в корпус машины. Зерно и вода подхватываются лопатками ротора и отбрасываются на внутреннюю поверхность корпуса. При большой частоте вращения ротора и медленном перемещении зерна вдоль шнека происходит равномерное смачивание зерновок.

Положительным эффектом применения машин для интенсивного увлажнения является сокращение продолжительности отволаживания на 2...3 часа по сравнению с увлажнением зерна в моечных и других увлажнительных машинах из-за обеспечения более равномерного увлажнения зерновой массы. При применении машин для интенсивного увлажнения необходимо обеспечить отбор легких и минеральных примесей до подачи зерна на увлажнение, в противном случае происходит быстрый износ лопаток ротора и внутренней поверхности корпуса. На мукомольных заводах применяют холодный и горячий (скоростной) способы ГТО.

*Холодный способ ГТО.* При холодном способе ГТО зерно увлажняется холодной или подогретой водой, затем зерно помещают в бункера для отволаживания. Именно при отволаживании происходит разрыхление эндосперма.

Процесс при холодном способе ГТО может включать один или два основных и один дополнительный (перед первой драной системой) этапы увлажнения и отволаживания зерна. Под основным этапом подразумевается увлажнение и длительное (в течение нескольких часов) отволаживание.

При увлажнении зерна происходит захват определенного количества воды, которого в процессе отволаживания может не хватить для завершения цикла разрыхления микроструктуры эндосперма. Поэтому для зерна с исходной влажностью менее 12% рекомендуется второй этап увлажнения и отволаживания, при котором зерном захватывается новая порция воды, распространяющаяся по эндосперму зерна быстрее первой из-за наличия микротрещин, полученных при первом отволаживании.

Дополнительный этап увлажнения (на 0,03...0,05%) и отволаживания (в течение 20...40 мин) является обязательным для всех способов ГТО [ 2 ]. Это необходимо для увлажнения подсохших при дополнительной очистке зерна его поверхностных слоев (оболочек и алейронового слоя), благодаря чему их размалываемость резко снижается, что приводит к улучшению качества муки.

Для повышения эффективности холодного способа ГТО в зимнее время целесообразно нагревать зерно до комнатной температуры и воду для его увлажнения до температуры 20...40°C. Кроме повышения эффективности ГТО эти операции позволяют предотвратить образование конденсата в бункерах для отволаживания. Режимы ГТО зависят в основном от исходной влажности зерна, его типа и стекловидности.

Холодный способ ГТО ржи рекомендуется проводить при подготовке ее к сортовому помолу при исходной влажности зерна менее 14%. При этом необходимо руководствоваться ориентировочными режимами. При обойных помолах пшеницы и ржи проводят ГТО только холодным способом.

При холодном способе ГТО различают три варианта обработки зерна водой перед его основными этапами:

- 1) с применением моечной машины Ж9-БМА;
- 2) с применением машины для мокрого шелушения А1-БМШ;
- 3) с применением шнеков для интенсивного увлажнения зерна А1-БШУ-2.

Зерно, пройдя предварительную очистку, поступает в одну из указанных выше машин для обработки (очистки) водой, затем в увлажнительную машину А1-БУЗ первого основного этапа увлажнения и распределяется по бункерам для отволаживания. Из бункеров зерно выпускают при помощи дозаторов в сборный шнек и направляют на второй основной этап ГТО, который включает увлажнительную машину А1-БУЗ и бункера для повторного отволаживания.

После основного этапа ГТО зерно подвергается окончательной очистке, при которой влага с поверхности зерна испаряется, и оболочки частички теряют приобретенные пластические свойства, что увеличивает их размалываемость.

Поэтому после окончательной очистки зерно увлажняют в увлажнительной машине А1-БАЗ и кратковременно отволаживают перед направлением на первую драную систему.

Иногда зерно между первым и вторым основными этапами ГТО проходит промежуточную очистку от отделившихся при проведении ГТО оболочечных частиц.

**Горячий (скоростной) способ ГТО.** Этот способ основан на использовании в качестве влагоносителя насыщенного водяного пара для увлажнения и нагревания зерна.

Поскольку скоростной способ ГТО проводится при высокой температуре влагоносителя, процессы влагопереноса в зерне происходят значительно интенсивнее, чем при холодном способе. Это ведет к значительному сокращению объема бункеров для отволаживания и к сокращению его времени. Скоростной способ ГТО применяют только при первом основном этапе увлажнения и отволаживания [2]. Для зерна ржи скоростной способ ГТО не применяется.

**Отволаживание.** Наиболее эффективно использовать способ скоростного ГТО для зерна пшеницы с низким качеством клейковины [ 2 ] .

Зерно в бункерах можно отволаживать двумя способами: в статическом и динамическом (непрерывном) режимах. При статическом отволаживании бункера заполняют и разгружают поочередно по графику через определенный промежуток времени. Для динамического режима предусматривается непрерывно-поточный способ заполнения и разгрузки бункеров.

Динамический режим обеспечивает лучшее использование имеющихся бункеров, повышает равномерность отволаживания зерна. Для равномерного движения зерна по всей площади поперечного сечения днища бункера предусматривается несколько выпускных отверстий.

Рассмотренные ручные способы и средства доувлажнения зерна не отвечают технологическим требованиям из-за значительной погрешности управления влажностью зерна и ,как следствие, не обеспечивают необходимое качество размола при существенном (до 5-7%) наличии потерь готовой продукции [ 3 ] . В связи с этим разработка современных систем стабилизации увлажнения зерна является весьма актуальной задачей [ 4 ] .

Автоматизированная система стабилизации увлажнения зерна, строится на основе программируемого контроллера *Теконик*<sup>®</sup>, установленного в комплектном шкафу управления (пылевлагозащита - IP54). Контроллер получает информацию от датчиков системы, включая сдвоенный СВЧ-влажномер, осуществляющих измерение влажности зерна (до и после процесса увлажнения). После обработки полученной информации контроллер по заданным алгоритмам формирует сигнал управления в систему подачи воды. Информация о протекании процесса увлажнения поступает на мнемосхему станции оператора.

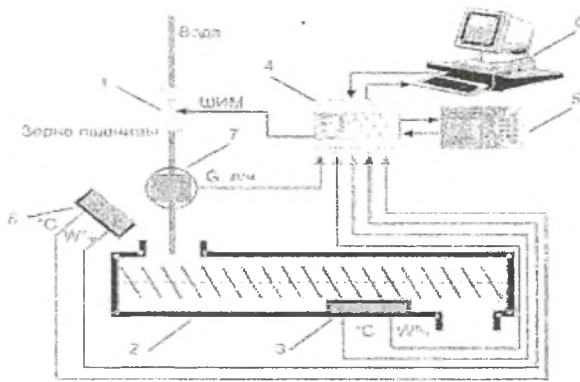


Рис. 3. Автоматизированная система стабилизации увлажнения зерна (АССУЗ).

**Функциональные возможности системы:**

- дистанционное автоматизированное управление с компьютера операторской станции или с панели шкафа управления;
- отображение информации о работе системы в виде фрагментов мнемосхем, таблиц параметров, графиков, гистограмм и отчетов на рабочем месте оператора;
- контроль и отображение числовых значений технологических параметров процесса увлажнения зерна по каждому этапу его увлажнения;
- настройку технологом параметров контуров регулирования АССУЗ в интерактивном режиме (с рабочего места оператора или выносной панели);
- сигнализацию и регистрацию аварийных ситуаций в системе увлажнения зерна;
- архивирование и просмотр архива текущих рабочих значений и отчета аварийных ситуаций по каждому этапу увлажнения;
- возможность работы в ручном режиме.

Система может быть установлена на линию практически любой производительности, при этом не требуется приобретение дополнительного оборудования.

ния для стабилизации потока зерна. В состав АССУЗ может входить до 6 подсистем стабилизации увлажнения зерна.

### **Поточный влагомер зерна Микрорадар 113-2**

**Микрорадар 113 -2** - единственный из существующих влагомеров, предназначенный для измерения влажности свежееувлажненного ( мокрого ) зерна, т.к. он реализует алгоритм, учитывающий изменение диэлектрических свойств связанной с зерном воды в поверхностном слое последнего в процессе быстрого увлажнения [ 5 ]

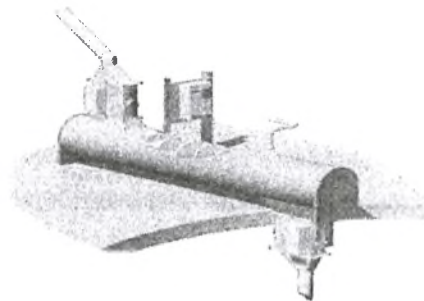


Рис. 4. Подключение датчиков влагомера Микрорадар 113 -2 на входе и выходе увлажняющей машины.

Прибор состоит из двух СВЧ-датчиков, один из которых подключается на входе доувлажняющей машины, второй - на выходе, а также блоков преобразования и индикации, т.е фактически двоякий влагомер Микрорадар 113. Сигналы с обоих блоков первичных преобразователей обрабатываются в микропроцессорном блоке по особому алгоритму, позволяющему определять отдельно влажность зерна, поступающего на увлажняющую машину и его влажность после увлажнения [6]. Прибор может работать и в режиме двух независимых датчиков влажности, например, при автоматизации сушки зерна, на входе и выходе из сушилки.

Устройство контроля влажности представляет собой микроволновой влагомер, построенный на основе техники сантиметрового диапазона волн, что

обеспечивает чрезвычайно низкую чувствительность прибора к типу зерна, региону произрастания, содержанию солей и т.п. «мешающим факторам» [6] , при стабилизации плотности материала и автоматической температурной коррекции. Принцип действия влагомера основан на измерении величины поглощения микроволновой энергии влажным материалом и преобразовании этой величины в цифровой код с использованием современной микропроцессорной техники.

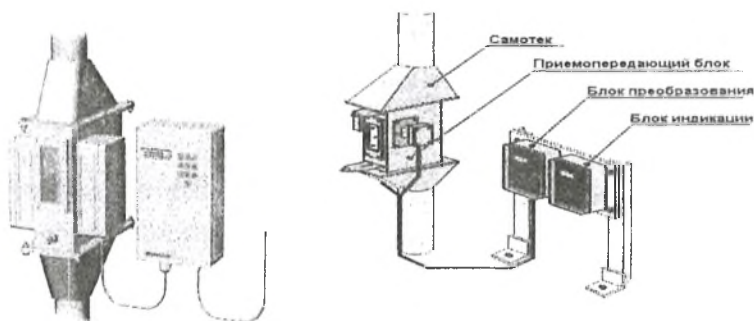


Рис. 5. Внешний вид влагомера Микрорадар 113 - 2.

В комплект поставки прибора входит программа накопления и отображения влажности в реальном масштабе времени, что позволяет записывать на компьютер, наблюдать, хранить и печатать информацию о влажности за любой период времени.

Опыт показывает, что системы автоматизации на базе влагомера МР113-2 позволяют поддерживать влажность зерна перед первой драной системой с точностью до 0,15 %.

Литература:

1. Дойловский Э.И. Мукомольное и крупяное производство «Сталкер», 2005. -180с.
2. Вашкевич В.В., Горнец О.Б., Ильичев Г.Н. Технология производства муки на промышленных и малых мельзаводах. –Барнаул: 1999-215с.

3. Буковский В.А. Технология мукомольного производства.-М.: Агрополииздат.-1990.

4. Бородин И.Ф, Андреев С.А. Автоматизация технологических процессов и системы автоматического управления М.: КолосС, 2005-344 с.

5. Лисовский В.В. Теория и практика СВЧ-контроля влажности с/х материалов. Мн.:БГАТУ, 2005.-292 с.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НА ПЭВМ

Матвеев И.П.

УО Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск

В связи с решением задачи повышения уровня автоматизации производственных процессов в сельском хозяйстве, возникает проблема создания таких автоматизированных систем управления, которые бы наиболее полно подходили к конкретному технологическому процессу.

Такая задача может быть решена с привлечением ПЭВМ с помощью пакета прикладных программ, который позволяет моделировать как аналоговые схемы, так и цифровые устройства. Были смоделированы различные типы усилителей (усилители напряжения и мощности, УНЧ, УВЧ, операционные усилители и др.), как составной части системы управления, обеспечивающие заданный коэффициент усиления, быстродействия, точность воспроизведения на выходе изменений входной величины, а также сопряжения с исполнительными элементами конкретной системы управления.

Кроме того, были смоделированы и цифровые устройства, составляющие основу микропроцессорной техники: триггеры, регистры, счетчики, шифраторы и дешифраторы, сумматоры и мультиплексоры.

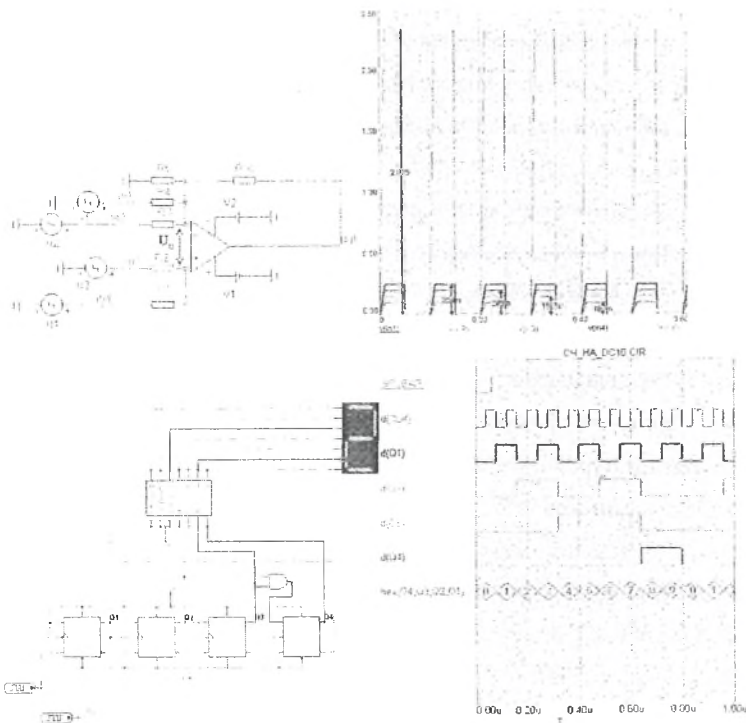
Программа «MICROCAP» позволяет:

- легко подбирать и изменять типы и номиналы элементов для задания различных режимов работы схемы;

- просмотреть входные, выходные и промежуточные сигналы с целью корректировки схемы и достижения необходимых входных параметров;
- быстро получать АЧХ в широком диапазоне частот (от 0 до 20МГц), ФЧХ и ВАХ;
- получать временные диаграммы работы цифровых устройств.

На рисунках показаны примеры разработанных схем: схемы сумматора на ОУ и десятичного счетчика, которые были созданы в рамках программы «MICROCAP» и полученные в результате анализа временные диаграммы.

Однако при моделировании устройств возникают сложности в подборе элементов из-за неполного соответствия параметров зарубежных элементов и отечественных (коэффициент усиления, межэлектродные емкости, токи утечки, энергия подложки и др.).



Таким образом, моделируя отдельные элементы систем управления на ПЭВМ, появляется возможность создания более качественных, точных и сопряженных друг с другом частей схемы, сокращается время отладки разработанных схем.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИНФОРМАЦИИ НА КАЧЕСТВО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ**

Павловский В.А.

УО Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск

По определению информация есть организованная структура – антипод хаоса и раздробленности. Естественное желание человека обладать информацией. Переход от незнания к знанию освобождает от предрассудков и делает выбор в принятии решений адекватным. «Кто владеет информацией – владеет миром» – сказал Н. Родзильд. Остается только убеждаться, насколько верна эта фраза. Частный случай – управление технологическими процессами в сельскохозяйственном производстве.

Целью технологического процесса является получение из исходного материала качественной продукции, посредством выполнения технологин.

Технология содержит упорядоченную последовательность операций с подробным описанием условий их начала, протекания и завершения.

Условия, определяющие ход технологических операций определяются временем, координатами в пространстве, количеством, объемом, массой, давлением, скоростью, температурой и подобными параметрами, а так же их сочетаниями. В ходе технологического процесса значения физических величин непрерывно меняются. Для отображения этих изменений в форму, пригодную для ввода в аппаратуру обработки данных, их преобразуют в сигналы. Под сигналом понимают физическую величину, изменение которой во времени отображает поведение другой физической величины. В сигнале различают информационный параметр и его носитель. Носителем может быть, например, поток воздуха, радиоволна,

электрический ток. По типу носителя сигналы разделяют на пневматические, радиосигналы, электрические сигналы и т.д. В качестве информационного параметра может быть выбрана любая физическая величина, характеризующая текущее состояние носителя, например давление воздуха, частота радиосигнала, напряжение или сила электрического тока. Таким образом, сигнал это, прежде всего временная функция, отображающая изменение исходной физической величины. Чтобы отличить физические величины – носители информации от величин, характеризующих технологический процесс, последние называют технологическими параметрами.

Количественные и качественные оценки технологических параметров, а так же результаты их обработки представляют собой ценную технологическую информацию.

Наиболее полно обработать и использовать технологическую информацию с целью повышения эффективности управления позволяет микропроцессорная техника. Для этого аналоговый сигнал должен быть преобразован в унифицированный электрический и затем в цифровой на входе микропроцессорной системы, либо в дискретный электрический сигнал.

Использование информационной составляющей сигналов в цифровом виде и возможности в хранении и обработке, предоставляемые микропроцессорной техникой, создают предпосылки для возникновения новых направлений ее применения, которые практически не могли быть реализованы при информационной компоненте сигналов типа давления воздуха.

Микропроцессор предназначен для обработки информации. С помощью микропроцессора устройства управления способны обрести комплексное информационное восприятие объекта управления. В частности устройствам управления типа микропроцессорные контроллеры свойственна мультиплексность, т.е. способность практически одновременно (квазипараллельно) осуществлять обработку нескольких сигналов. Достигается это распределением ресурсов между отдельными информационными процессами операционной системой реального времени.

Таким образом, один контроллер способен поддерживать управление несколькими контурами регулирования. Кроме этого контроллер способен одновременно осуществлять еще и управление последовательностью операций (логическое управление). При этом вся собираемая, обрабатываемая контроллером информация по всем задачам располагается в его памяти в цифровом виде, что делает её доступной для использования при решении любой из задач.

Такая возможность позволяет при наличии реально существующей связи между отдельными процессами в сложном объекте учесть это, введя полезную информационную связь между отдельными задачами в устройстве управления. Введение полезных информационных связей приводит к появлению синергетического эффекта – новых полезных свойств системы не характерных для ее частей взятых по отдельности, что выражается в виде повышения качества управления и экономическом эффекте. В частности, такой эффект наблюдался при автоматизации на базе контроллера системы кормления на промышленном свиноплексе. Такой подход в целенаправленном совершенствовании систем управления при использовании микропроцессорных систем управления можно назвать принципом введения полезных информационных связей (ПВИПС).

Эффективен будет этот принцип и при создании распределенных микропроцессорных систем управления сложными объектами.

Устройство управления должно постоянно проверять правильность хода технологического процесса, при этом особенно важна координация отдельных специализированных задач. Для этого необходимо правильно организовать обмен данными между программными модулями, как локально, так и в распределенной среде, интерфейс пользователя и взаимодействие между вычислительной системой и технологическим оборудованием.

Сочетание биологии и техники, нестационарность и распределенность в пространстве и времени, нелинейные и недетерминированные связи между параметрами заставляют относить технологические процессы сельскохозяйственного производства к сложным объектам управления. Примитивность управления приводит к существенной хаотичности в производстве и, как следствие, к низкой его

экономической эффективности. Повышение эффективности агропромышленного производства объективно требует внедрения новых совершенных устройств управления на базе микропроцессорной техники, позволяющих в достаточной мере учесть его сложность и специфику. Компьютерное управление широко применяется в промышленности, энергетике, транспорте, системах связи и во многих случаях не имеет реальной альтернативы.

Таким образом, для улучшения характеристик технологического процесса необходимо, используя возможности микропроцессора, обрабатывать всю доступную полезную информацию. Эффективность микропроцессорных устройств управления во многом определяется не их вычислительной мощностью, а способами обработки информации, являющимися неотъемлемой частью, заданными в виде алгоритмов и программ.

## **МИНИАТЮРНЫЕ ДАТЧИКИ И УСТРОЙСТВА НА ЭФФЕКТЕ ХОЛЛА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ АПК**

Прокошин В.А., БРФФИ, г. Минск,

Драпезо А.П., Ярмолович В.А., ОИФТТП НАН Беларуси, г. Минск

В настоящее время с использованием эффекта Холла изготавливается большое количество технических устройств в миниатюрном исполнении. Их характерной особенностью является отсутствие механического контакта между объектом контроля или измерения и органом преобразования, что значительно повышает надежность таких устройств. Связь в них осуществляется по магнитному полю.

Физический принцип построения устройств измерения и контроля на эффекте Холла – бесконтактное преобразование индукции магнитного поля в унифицированный электрический выходной сигнал (ток или ЭДС) и его дальнейшее преобразование и обработка. В качестве источников магнитного поля обычно используются миниатюрные магнитные системы постоянных магнитов из редкоземельных материалов, например, из  $\text{SmCo}_5$ . Изготовление устройств, функционирующих на эффекте Холла, имеет следующие технологические преимущества: групповое изготовление миниатюрных элементов Холла стандартными

методами микроэлектроники (фотолитография, скрайбирование, приварка контактов золотым микропроводом, герметизация), использование взаимозаменяемых групп источников магнитных полей и малогабаритных корпусов, применение унифицированных плат усиления и обработки сигнала.

Магниточувствительные элементы Холла изготавливаются из разработанных нами гетероэпитаксиальных структур антимонида индия на полуизолирующем арсениде галлия с высокой подвижностью носителей заряда  $n$ -типа. При этом миниатюрные элементы могут объединяться в двухкомпонентные или трехкомпонентные магниточувствительные зонды, собираться в виде матриц.

При изготовлении двухкомпонентных зондов миниатюрные элементы Холла располагаются в двух взаимноперпендикулярных плоскостях, а в трехкомпонентных зондах – в трех взаимноперпендикулярных плоскостях соответственно. Применение двух- и трехкомпонентных зондов весьма широкое: от устройств контроля в автоматике АПК и автомобильном транспорте до новых разработок в медицине. Так, магниточувствительные зонды нашего производства хорошо себя зарекомендовали в космосе на летательном аппарате "Марс-экспресс", где они выполняли функцию угловой ориентации сложного спектрометрического оборудования. Матрицы из элементов Холла применяются во внутритрубных диагностических снарядах типа MFL для диагностики магистральных нефте- и газопроводов. Они способны различать трещины, коррозионные участки и другие дефекты.

Одно- и двухкомпонентные зонды на эффект Холла широко используются в машиностроении для построения датчиков. В основе функционирования ряда устройств, таких как измеритель уровня топлива УТ-90 большегрузных карьерных самосвалов белорусского производства, электронных педалей "газа" и "тормоза", инклинометров и других изделий лежит использование датчиков угла поворота на эффекте Холла серии ДУПХ, основные технические характеристики которых приведены в таблице 1:

Таблица 1

1	Габариты - не более,	мм	Ø45X60 (Ø 45X90)
2	Напряжение питания,	В	+12±5 (4,8±1,5)
3	Диапазон угла поворота,	град.	-15°...0...+15° (0°...360°)
4	Разрешающая способность,	угл. минута	5'
5	Рабочий температурный диапазон,	оС	-60...+120
6	Выходной сигнал,	В	2...6
7	Ток питания,	мА	20...40
8	Основная погрешность не более		0,5 %
9	Дополнительная погрешность в диапазоне температур от - 40°С до +80°С, не более от - 60°С до +120°С, не более		0,25% - 1,8 %
1	Изменение выходного сигнала от угла поворота, функция вида		$Y1=k1 \sin x$ $Y2=k2 \cos x$

Датчик предназначен для преобразования угла поворота вала в аналоговый электрический выходной сигнал. Он может быть как полнооборотным, так и секторным. Датчик выполнен в виде цилиндрического корпуса с фланцем и вращающимся валом. Для точной фиксации имеет шлицевое самоцентрирующееся крепление. Преобразование угла поворота вала в электрический сигнал производится бесконтактным способом за счет изменения индукции магнитного поля в области расположения чувствительного зонда. В ДУПХ применяются различные варианты элементов Холла. Для секторного датчика используется однокомпонентный зонд, а для полнооборотного - двухкомпонентный зонд.

Сигнал с магниточувствительного элемента подается на встроенный усилитель, выполненный в виде интегральной схемы. Датчики серии ДУПХ рассчитаны для работы в условиях повышенных температурных воздействий и агрессивных сред (соляной туман, кислотные и щелочные воздействия и др.). Датчик радиационностоек, имеет пожарно-взрыво-безопасное исполнение и большую износостойкость (количество рабочих циклов более 106). По характеристикам точности и надежности датчик предназначен для работы в составе сложных микропроцессорных систем. Он может также применяться для систем военной и космической техники, авиационных и автотракторных систем управления и контроля, станкостроения и др. В отличие от существующих аналогов на других принципах функционирования (потенциметрических, индукцион-

ных), датчик имеет меньшие габариты, на порядок более высокую надежность, простоту конструкции, современную элементную базу.

Еще одним направлением, где особенно перспективно использовать миниатюрные элементы Холла являются бесконтактные измерения электрических параметров, таких как ток и электрическая мощность. При измерении электрического тока токопроводящую шину охватывает кольцо из магнитомягкого феррита, в узком разрезе которого размещается магниточувствительный элемент Холла. Проходящий ток вызывает появление магнитного поля, которое усиливается ферритовым кольцом и детектируется элементом Холла. В настоящее время выпускаются датчики тока на различные диапазоны от (0-100) мА до (0-1) кА. При измерениях электрической мощности в устройствах обычно используется два датчика Холла и два магнитопровода. Один датчик Холла вырабатывает ЭДС пропорционально току нагрузки, а второй выполняет функцию перемножения величин, пропорциональных напряжению (разности потенциалов) и току нагрузки. В результате устройство выдает сигнал, прямо пропорциональный измеряемой мощности. Эти изделия рассчитаны на различные уровни мощности, вплоть до 450 кВт и имеют гальваническую развязку по току и напряжению с цепью измерения, чем и обеспечивается высокая их надежность. Для обеспечения высокой точности измерения электрической мощности (погрешность не превышает 1%) в устройствах используется компенсационный принцип построения схемы измерений.

## **АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЕРВИЧНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ В ТЕМПЕРАТУРНЫХ ЗАЩИТАХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ**

Равинский Н. А.

УО Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск

Первичный преобразователь температуры должен иметь следующие свойства: 1 – малую величину постоянной времени нагревания (до 3 с)<sup>1</sup>; 2 – малые размеры (до 3 мм); 3 – рабочий диапазон измерения от 0 °С до +150 °С (кратко-

временно до 240 °С), допустимую температуру при отключенном состоянии (хранении) до – 40 °С; 4 – малую погрешность измерения температуры (до +2 °С); 5 – срок службы не менее 20 000 ч.

Классификация известных и перспективных первичных преобразователей температуры для температурных защит приведена на рисунке 1.

В таблице 2 приведены основные параметры первичных преобразователей температуры, собранные по данным 16 литературных источников.

Из таблицы 2 видно, что для температурных защит по критерию минимальной постоянной времени нагревания пригодны электротермометры термоэлектрические без защитной оболочки и терморезистивные металлические пленочные, а также волоконно-оптические термометры и инфракрасные бесконтактные. По критерию чувствительности пригодны все указанные термометры. На выбор датчиков накладываются ограничения по диапазону измеряемых температур.



Рисунок 1. Классификация первичных преобразователей температуры

Поскольку требуется измерять температуру до +240°C, термотранзисторные или термодиодные датчики, а также волоконно-оптические термометры пока не удовлетворяют этому условию. Возможно, что эти ограничения будут преодолены в ближайшее время, но пока реальными для температурных защит остаются датчики термоэлектрические и терморезистивные металлические пленочные, инфракрасные. Для определения температуры вращающегося ротора вне конкуренции уже теперь инфракрасные термометры.

Таблица 2 Характеристика первичных преобразователей температуры

Чувствительные элементы	Постоянная времени нагревания, с	Пороговая чувствительность, °С	Диапазон температур, °С	Примечание
1	2	3	4	5
1 Встраиваемые с контактным выходом				Вся группа характеризуется большими размерами, большой постоянной времени нагревания, не регулируемой вставкой срабатывания.
1.1 биметаллические дисковые	60...100	1	-60...+200	
1.2 биметаллические пластинчатые	50...100	1	-60...+200	
1.3 dilatометрические	60...100	1	-60...+200	
1.4 биметаллические с дополнительной подогревающей обмоткой	30...80	1	-60...+200	
1.5 ртутные контакторы	20...100	0,1	-100...+600	
1.6 с эффектом термомемории	..*	..*	..*	
2 С бесконтактным выходом, контактирующие с обмоткой. Электротермометры				Температура срабатывания определяется точкой Кюри и не регулируется. Требуется специальные схемы стабилизации холодных спаев, нормирующие преобразователи. Алюминиевые, Медные, платиновые пленочные. Известны микро-схемы для пленочных датчиков.
2.1 термомагнитные	20...100	0,01	-250...+270	
2.2 термоэлектрические без защитной оболочки	0,2...0,3	0,01	-260...+800	
2.3 терморезистивные, металлические и пленочные	3...30 3...5	0,01 0,01	-200...+180 -200...+1300	
2.4 терморезистивные полупроводниковые	20...30 10...20**	0,001	-60...+200	Термисторы; позисторы с репейной характеристикой при определенной температуре.

2.5 термочастотные кварцевые	10...100	0,0001	-40...+200	Мало исследованы, сложные, цифровой выход.
2.6 термемкостные	20...60	0,01	-40...+200	То же
2.7 термотранзисторные	30...60	0,01	-40...+125	Недостаточен температурный диапазон; с аналоговым или цифровым выходом; не взаимозаменяемы.
2.8 волоконно-оптические термометры	0,1...10	0,1	-10...+150	Мало исследованы, недостаточен температурный диапазон.
3 Дистанционные, не контактирующие с обмоткой				Большие габариты, изменяют температуру поверхности.
3.1 Инфракрасные термометры	0,01...0,1	1...2	-30...+450	Большая стоимость вне конкуренции при определении температуры вращающихся частей

\* - нет данных;

\*\* - иностранные

Таким образом, пути совершенствования температурных защит состоят в применении первичных преобразователей инфракрасных термоэлектрических и терморезистивных пленочных.

## КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ ОБМОТОК АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С ПОМОЩЬЮ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ

Равинский П.А.

НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства, г. Минск

Нами исследованы термоэлектрические датчики для температурной защиты. В качестве термодатчиков выбраны термопары открытого типа ТХА-1199, исп. 52, имеющие диаметр термопроводов 0,2 мм, длину 700 мм. Термопровода изолированы кремнеземной теплостойкой нитью К11С6. Термопары производятся НП ООО "Энергоприбор", г. Минск, имеют низкую стоимость. Чувствительность термопары составляет 40,7 мВ/°С, постоянная времени нагревания – 0,2 с.

Для определения места установки термопар в обмотке изготовленного электродвигателя, проверки инерционности термодатчика и определения характера изменения температуры в аварийных режимах был использован трехфазный асинхронный электродвигатель АИР71А6УЗ, имеющий следующие пара-

метры:  $U_n=380\text{В}$ ; соединение обмоток статора в “звезду”;  $P_n=0,37\text{кВт}$ ;  $I_n=1,4\text{А}$ ;  $n=900$  об/мин.

В электродвигателе был снят подшипниковый щит и с помощью термоклея “Радиал” (рабочая температура до  $300^\circ\text{C}$ ) закреплены 6 термопар. Места установки их указаны схематично на рисунке 1а. Концы термодатчиков выведены через коробку выводов обмотки двигателя.

Термопары расположены следующим образом:

- №1 - закреплена с внутренней обдуваемой стороны, по центру лобовых частей обмотки первой фазы;
- №2 - установлена практически в пазовом отверстии с внутренней стороны обмотки второй фазы;
- №3 - закреплена в воздухе с внешней тыльной стороны обмотки;
- №4 - закреплена на торцевой поверхности пакета статора с внешней стороны;
- №5 - установлена с внешней стороны лобовой части обмотки второй фазы;
- №6 - размещена на самой вершине изгиба обмотки лобовой части второй фазы.

После установки термодатчиков электродвигатель был собран и закреплен на раме совместно с нагрузочной асинхронной машиной, включенной в режиме динамического торможения, которая позволяла создавать двухкратную перегрузку по току. Контроль электрических параметров электродвигателя осуществлялся с помощью измерительного комплекта К506. Для контроля показаний шести термопар использовался измерительный 12-канальный микропроцессорный прибор “Сосна-004”. Этот прибор производит визуальную индикацию измеряемой температуры и номера канала, а также записывает в память все измерения. С помощью специальной программы данные извлекались, а с помощью программы “Excel” строились кривые, изображенные на рисунках 2 – 4.

На рисунке 2 изображено изменение температуры обмотки в процессе нагрева при холостом ходе электродвигателя. Из рисунка 2 видно следующее:

- 1) изменение температуры носит экспоненциальный характер;
- 2) термопара №4 (пакет стали) имеет явно выраженное запаздывание;
- 3) наибольшую температуру имеет термопара №6 на изгибе лобовых частей;

- 4) практически одинаковую температуру имеют термодатчики №1, №2 и №5;
- 5) температура воздуха больше температуры пакета стали;
- 6) наибольшая температура обмотки в режиме холостого хода через 2400с. составила значительную величину - 69°C.

Результаты опытов с двукратной перегрузкой по току при аварийном неполнофазном режиме изображены на рисунке 3. Из них следует:

- 1) характер изменения температуры отличается от экспоненты;
- 2) требуется на порядок меньше время защиты (80с против 800с) на холостом ходу для нагрева обмотки до максимальной температуры;

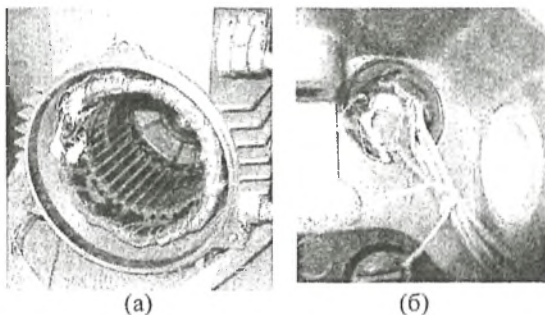
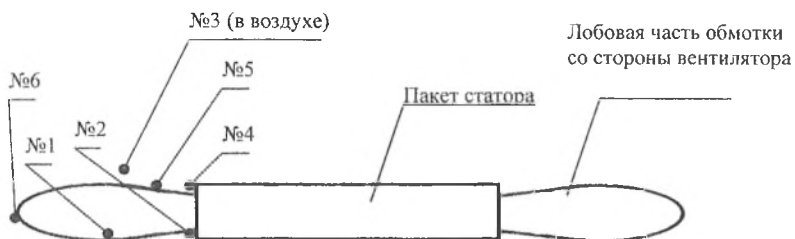


Рисунок 1. Размещение датчиков в обмотках двигателя (а) и внешний вид крепления датчиков в обмотках электродвигателя (б)

- 3) наблюдается значительное расхождение между температурами термодатчиков (примерно в 2 раза), закрепленных на обмотке с током и на обмотке без тока;
- 4) наибольшая температура наблюдается в фазах, обтекаемых током перегрузки (при обрыве фазы А наибольшую температуру имеет датчик №6);

5) наименьшую температуру имеют датчики, установленные в воздухе (№3) и на пакете стали (№4), °C

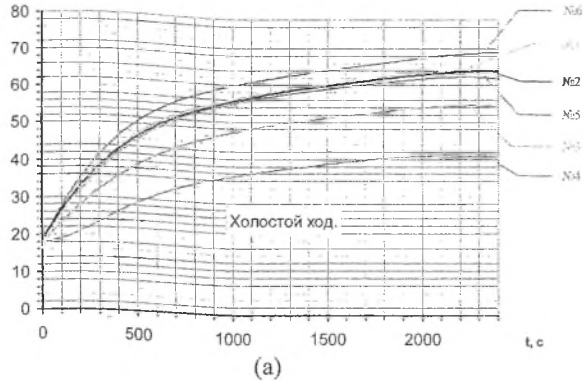


Рисунок 2. Изменение температуры термодатчиков при холостом ходе

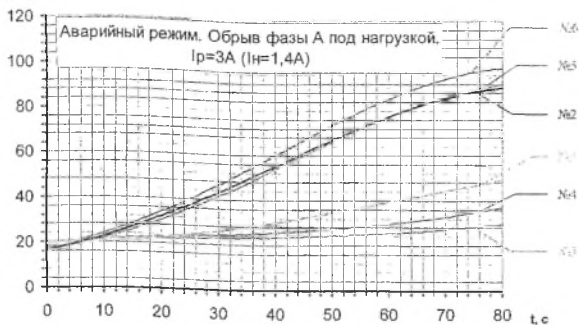


Рисунок 3. Изменение температуры термодатчиков при обрыве фазы А и двухкратной перегрузке по току

Для опытов стопорного режима была выбрана наиболее нагреваемая термопара №6. Результаты опыта изображены на рисунке 4. Из рисунка 4 следует, что за время примерно до 20с нагрев происходит по линейной зависимости, далее скорость нагрева незначительно уменьшается. Через 40с обмотка достигает температуры 100°С. Не наблюдалось заметной инерционности в показаниях термопары.

Использование термопар на изготовленном электродвигателе выявило следующие особенности:

- 1) требуется установка термопар на обмотке каждой фазы;

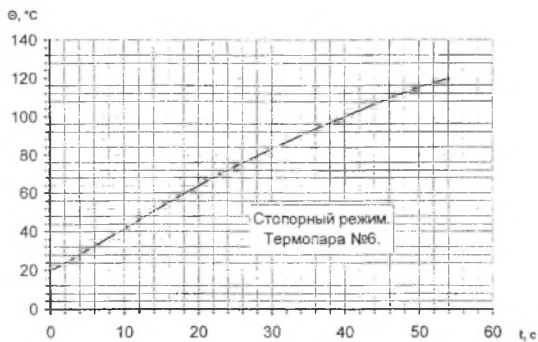


Рисунок 4. Изменение температуры обмотки в стопорном режиме

### Выводы

- 1) требуется установка термомпар на обмотке каждой фазы;
- 2) термомпары открытого типа ТХА-1199 исп. 52 подходят для создания температурной защиты двигателя;
- 3) теплопроводный термоклей “Радиал” российского производства подходит для целей крепления термомпар и изоляции мета крепления;
- 4) в изготовленном электродвигателе термомпары должны быть закреплены на открытой части обмотки;
- 5) использовать термомпары в воздухе или закрепленных на пакете статора не рекомендуется. В связи с этим авторы считают не приемлимым предложение использовать термомдатчик, закрепленный в корпусе электродвигателя (на месте рымболта) [1].

В разработанной температурной защите не надо прокладывать проводники от коробки выводов двигателя до коммутационного аппарата. Этим устраняется первый недостаток известных устройств встроенной температурной защиты УВТЗ [2]. Второй их недостаток (запаздывание или срабатывание в стопорном режиме) устраняется установкой малоинерционных термомпар.

### Литература

1. Борисов Ю.С. Контроль нагрева электродвигателей [Текст] / Ю.С. Борисов // Техника в сельском хозяйстве. – 2006. – №2. – с. 23-25.

2. Кунин Р.З. Применение встроенной температурной защиты [Текст] / Р.З. Кунин // Механизация и электрификация соц. с. х. 1980. – №10. – с. 42-43.

## ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ АПК

Савченко О.Ф., СФТИАП, г. Новосибирск

В последние годы серьезность влияния, оказываемого информацией на принятие решений для функционирования технологических процессов в АПК, привела к росту понимания того, что информация это ресурс, обладающий определенной ценностью, и, следовательно, нуждающийся в упорядочении и управлении. Информационные ресурсы должны своевременно адаптироваться к требованиям рыночной экономики, обеспечивать поддержку непосредственной хозяйственной деятельности. Необходима систематизация знаний, представление их в виде информационных систем (ИС), удобных в получении и использовании, а также оперативно отражающих новейшие достижения научно-технического прогресса. Поэтому задачи создания и использования сельскохозяйственных ИС как *завершающего звена научных исследований и технологических разработок*, объединяющего профессиональные знания и опыт для распространения их широкому кругу пользователей в виде наукоемких удобных в применении программ с целью автоматизации управления технологическими процессами, становятся первостепенными.

Для создания сельскохозяйственных ИС наиболее целесообразно, по нашему мнению, применение следующих передовых информационных технологий (систем) - баз данных (БД), экспертных систем (ЭС), геоинформационных (ГИС), сетевых и виртуальных технологий; CALS- технологий. На их основе возможна разработка и развитие целого спектра ИС по различным направлениям сельскохозяйственного производства.

Подробно вопросы методологических подходов к созданию сельскохозяй-

ственных ИС, принципам и этапам их построения, разработке моделей представления данных, обоснованию структуры и состава и практическому использованию рассмотрены в работах ГНУ СибФТИ [1-3].

В рамках реализации этих методологических подходов создан целый ряд баз данных по ресурсосберегающим технологиям производства зерна; мобильной, почвообрабатывающей, посевной и другой сельскохозяйственной технике; по техническому обслуживанию и ремонту техники, а также по сорнякам и вредителям в посевах зерновых культур и их болезням. Разработаны измерительная экспертная система дизелей и экспертная система по оценке посевов, виртуальный прибор для оценки площади и степени поражения листьев, разработана информационно-поисковая система по сортам пшеницы Сибирской селекции, сформирован ряд ветеринарных экспертных систем. При поддержке Администрации Новосибирской области разработаны автоматизированные рабочие места агронома-землеустроителя на основе ГИС-технологий и агронома технолога, внедренные в хозяйствах «Кремлевское» и «Баган» Новосибирской области. Создан пилотный проект по прогнозированию производства продовольственного зерна на примере Новосибирской области. Большинство созданных ИС регистрируется как объекты интеллектуальной собственности; развивается процесс их внедрения в управления сельского хозяйства районного и областного уровня ряда областей Сибири, в аграрные образовательные учреждения, а также непосредственным производителям сельскохозяйственной продукции.

Подробную информацию о разработках можно просмотреть на сайте СибФТИ - <http://www.sibfti.ru>. Накопленный в ГНУ СибФТИ в течение ряда лет опыт разработки и внедрения ИС выявил ряд проблем.

1. Информационные системы не могут быть повсеместно внедрены в сельское хозяйство без его широкой и глубокой информатизации. Этот процесс сейчас очень неравномерен, сильно зависит от наличия в хозяйствах современных средств связи, компьютеров и степени их оснащенности, уровня готовности специалистов к их применению.

2. Для создания ИС наиболее целесообразно использование существующих

инструментальных программных средств, созданных в других отраслях. К ним относятся базы данных, экспертные системы (оболочки), ГИС-технологии, CALS-технологии, средства создания гипертекстовых и мультимедийных приложений, средства поддержки сетевых технологий и др. В таких средствах уже решены сложные «программистские» проблемы, они являются основой для создания конкретных систем, позволяют ускорить процесс создания ИС.

3. Очень важно определить приоритетный перечень объектов и технологий, информация по которым имеет большой спрос, важна для организационно-технологической деятельности сельского товаропроизводителя. В этом случае высока вероятность того, что создаваемые ИС по этим направлениям будут востребованы и найдут применение в практической работе.

#### Литература

1. Савченко О.Ф. Информационная поддержка принятия решений при использовании ресурсосберегающих технологий производства зерна / Савченко О.Ф. // Достижения науки и техники АПК. – 2004. – №5. – С. 46-48.

2. Савченко О.Ф. Методологические аспекты создания информационных систем в сельском хозяйстве / Савченко О.Ф. // Достижения науки и техники АПК. – 2006. – № 11. – С. 5-9.

3. Альт В.В. Состояние, тенденции и перспективы использования информационных технологий в сельском хозяйстве / Альт В.В., Алейников А.Ф., Савченко О.Ф., Гурова Т.А. // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2006. – № 7. – С. 105-109.

### **МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЕ КОНСТРУИРОВАНИЕ ПИД-Fuzzy РЕГУЛЯТОРА**

Сибиркин Д.В.

УО Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск

Под многокритериальным конструированием понимается определение структуры регулятора по заданным показателям качества управления и известной математической модели объекта управления [1].

Рассмотрим управляющее устройство системы управления на нечеткой логике (рис.1). Имеются два входных сигнала: ошибка и ее производная. Три выхода управляющего воздействия в сумме соответствующему ПИД закону управления. Верхний вход соответствует пропорциональной составляющей, средний интегральной составляющей, нижний дифференциальной составляющей закона управления. Нечеткие множества входных и выходных параметров представлены

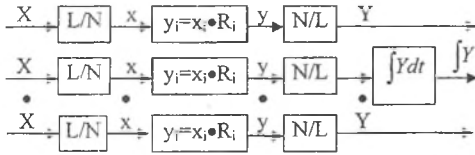


Рис.1 Каналы формирования управляющего воздействия в ПИД-fuzzy регуляторе

в виде треугольных множеств. Каждая составляющая закона управления вычисляется отдельно, по одному каналу на каждую составляющую. Элемент L/N преобразует реальную величину X в нечеткую x, т.е. в достоверности

входного нечеткого множества (фадзификация). Элемент N/L делает обратное действие, преобразует выходную нечеткую величину u в четкую Y (дефадзификация). Дефадзификация осуществляется методом нахождения центра тяжести композиции максимум-минимум. R – база знаний ПИД-fuzzy регулятора, нечеткое причинное отношение предпосылки и заключения  $x \rightarrow u$ . С помощью R задаются знания эксперта.

Предположим  $A_2 - A_1 = A_3 - A_2, A_3 - A_2 = A_4 - A_3, \dots, A_7 - A_6 = A_6 - A_5; B_2 - B_1 = B_3 - B_2, B_3 - B_2 = B_4 - B_3, \dots, B_7 - B_6 = B_6 - B_5$ . Лингвистические правила имеют вид:

$$N_{i,j}: \text{если } x_i \text{ есть } NMx_i, \text{ то } u_i \text{ есть } NMu_i, \quad (1)$$

где  $x_i$  – достоверность нечеткого входного множества  $NMx_i$ ;  $u_i$  – достоверность нечеткого выходного множества  $NMu_i$ ;  $N_{i,j}$  – номер лингвистического правила;  $i=1,2,\dots,7$  – номер нечеткого множества;  $j=1,2,3$  – номер составляющей закона управления. Тогда статическая характеристика каждого канала будет иметь вид представленный на рис.2 Ограничения возникнут только если входная величина  $X \in [A_1, A_7]$  и выходная величина  $Y \in [B_1, B_7]$ . Отсюда можно сделать вывод, что при приведённых выше условиях и изменении входных величин в малом

диапазоне (A2,A6) ПИД-fuzzy регулятор будет представлен линейными звеньями, при этом коэффициент усиления по каждому каналу будет равен

$$K_j = \frac{B_{j2} - B_{j1}}{A_{j2} - A_{j1}}, \quad (2)$$

где  $j$  – номер канала или составляющей закона управления. Из формулы (2) вид-

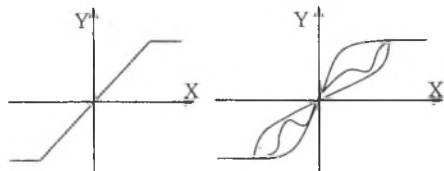


Рис.2 Пропорциональная зависимость

Рис.3 Нелинейная зависимость

но, что при увеличении диапазона входной величины и уменьшении диапазона выходной величины коэффициент будет уменьшаться. И наоборот - при уменьшении диапазона входной величины и увеличе-

нии диапазона выходной величины коэффициент будет увеличиваться. При  $K_j \neq K_{j-1}$  получается нелинейная зависимость (рис.3).

Методика исследования ПИД-fuzzy регулятор с мульти-входом и мульти-выходом предложена в работе [2]. Но как определить правильность выбранной структуры, однозначных методик нет. Обычно используется следующий метод:

а) определяется значения входных и выходных параметров и их взаимосвязь методом вопросов и ответов или система управления становится учеником эксперта;

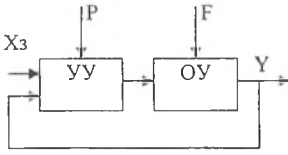
б) система управления поручает эксперту выполнение операций и воссоздает ситуацию из хронометрических данных;

в) корректирует значения управляющих функций, получая наилучшие результаты из экспериментов, имитирующих данную ситуацию.

Первый метод является эвристическим и близок к искусству. Второй метод – проектировщикам приходится разрабатывать самим структуру регулятора, полагаясь на свою интуицию и знания предыдущих разработок. Последний пункт поручается самой системе как функция самонастройки. Но следует заметить, что для функции самонастройки необходима база знаний настройки системы.

Эту базу знаний проектировщик закладывает исходя из своего опыта. В тоже время всю исследовательскую работу можно поручить ЭВМ. Необходимо лишь правильно формализовать задачу и требования к проектируемой системе.

Систему управления схематично представим из устройство (УУ) и объекта

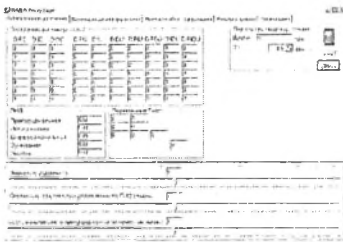


(ОУ) управления охваченного обратной связью (рис.4). При синтезе такой СУ задаемся показателями качества управления: при изменении задающего воздействия  $X_z$  контролируемый параметр  $Y$  через ограниченное время должен достигнуть заданного и оставаться в зоне допустимых отклонений  $\Delta\epsilon$ ; контролируемый параметр при переходе из одного заданного значения в другое не должен выходить за пределы заданного значения перерегулирования  $\sigma$ ; время перехода из одного заданного значения в другое должно стремиться к минимуму; скорость изменения контролируемого параметра  $Y$  не должна превышать заданной  $v_{max}$ . При параметрическом синтезе системы автоматического управления поиск оптимальных параметров устройства управления лучше искать по одному совокупному критерию. Для этого лучше подходят интегральные критерии качества переходных процессов [3].

Рис.4 Структурная схема замкнутой САУ.

Минимизация этого критерия приводит к устранению перерегулирования, если это возможно при не нарушении других условий, или приводит к улучшению всех показателей. Если над системой управления (рис.4) поставить устройство (назовём его оптимизирующее устройство) которое, изменяя параметры устройства управления, будет стремиться минимизировать интеграл (3), то мы по-

$$I = \int_0^t (e^2(t) + \lambda \cdot \frac{de(t)^2}{dt}) dt \quad (3)$$



это возможно при не нарушении других условий, или приводит к улучшению всех показателей.

Если над системой управления (рис.4) поставить устройство (назовём его оптимизирующее устройство) которое, изменяя параметры устройства управления, будет стремиться минимизировать интеграл (3), то мы по-

будет стремиться минимизировать интеграл (3), то мы по-

лучим систему автоматического управления с заданными показателями  $\lambda$ ,  $\theta$ ,  $\sigma$ ,  $\nu$ тах. На данный момент разработана имитационная модель САУ с ПИД-fuzzy регулятором Программа вы полнена в среде разработки Delphi 7 с оконным интерфейсом позволяющая в реальном времени моделировать САУ с отображение параметров нечетких множеств, лингвистической базы правил, объекта управления. При разработке программы использовалась теория цифровых систем управления и пространства состояния [4,5].

По результатам работы программ были получены оптимальные структуры регуляторов, на основании которых можно сделать выводы:

1. ПИД-fuzzy регулятор лучше, чем регулятор с классическим ПИД законом управления справляется с сильными (до 30% от зоны регулирования) возмущающими воздействиями.
2. ПИД-fuzzy регулятор без самонастройки практически невозможно применять, плохо настроенный классический ПИД-регулятор работает лучше.

#### Литература

1. М.Г. Зотов. Многокритериальное конструирование систем автоматического управления. – М.: БИНОМ. 2004
2. Tzuo-Hseng S.Li, Ming-Yuan Shieh. Design of a GA-based fuzzy PID controller for non-minimum phase system. Intelligent Control Laboratory, Department of Electrical Engineering, National Cheng-Kung University, 1 University Road, Tainan 70101, Taiwan, ROC. 1997
3. Г.Т. Кулаков. Инженерные экспресс методы расчета промышленных систем регулирования – Мн.: Высшая шк. 1984 Изерман Р. Цифровые системы управления. М.: Мир, 1994.
4. Куо Б. Теория и проектирование цифровых систем управления. М.: Машиностроение, 1984.
5. Бесекерский В.А., Изранцев В.В. Системы автоматического управления с микроЭВМ. — М.: Наука, 1987.

## СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГОЁМКОСТИ И ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССОВ СУШКИ ЗЕРНА

Сидоренко Ю.А., Филиченко А.М., Шимко Ю.А.

УО Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск

По данным FAO (Food and Agricultural Organization при ООН) - ежегодные потери зерновых составляют более 10% от общего производства с максимумом для менее развитых стран в 30 - 50%. В большинстве эти потери зависят от влажности и повышенной температуры зерна. На его досушивание и охлаждение расходуется более 20% всех энергоносителей, необходимых для выращивания и уборки хлеба.

Сушка зерна - ответственная технологическая операция перед закладкой на хранение. Оптимальные результаты дает сушка зерна теплым и что очень важно сухим воздухом. Температура зерна при сушке не должна превышать 45 °С. Наибольшее влияние на стойкость зерна при хранении оказывают такие его физические свойства как гигроскопичность, тепло - и температуропроводность. Хорошо сохраняет свои исходные свойства только то зерно, в котором вся влага находится в связанном коллоидами состоянии. Перегрев зерна приводит к ухудшению качества клейковины вплоть до полной ее денатурации. Снижается также активность ферментов.

За один прием сушки из очень влажного зерна нельзя удалить более чем 3 - 3,5% влаги, поэтому при сушке зерна в высокотемпературных зерносушилках зерно с влажностью более 17,5 - 18% сушат в несколько приемов. Перерывы между этапами сушки необходимы для перераспределения влаги из внутренних частей зерновки к поверхности, в противном случае поверхностные слои зерна растрескиваются, что приводит к ухудшению сохраняемости, снижаются выход и качество готовой продукции. Это обстоятельство приводит к перерасходу энергоносителей, что не может не сказаться на себестоимости готовой продукции. В этом случае наиболее эффективным решением является использование предварительно

подготовленного воздуха с относительной влажностью не более  $\varphi = 1-2\%$  и с дальнейшим его подогревом до  $45^{\circ}\text{C}$ .

На современном этапе развития науки для досушивания и искусственного охлаждения зерна наиболее эффективным и экономичным приемом ухода за зерном является его активное вентилирование. Оно рассматривается, как сложный технологический процесс, при котором свойства зерна, которые определяют его качество, должны быть не только сохранены, но и улучшены. Профилактическое охлаждение зерна вентилированием позволяет с наименьшими затратами предупредить возникновение очагов самосогревания и неконтролируемого развития насекомых - вредителей. При повышении относительной влажности воздуха эффект от вентиляции снижается в прямопропорциональной зависимости. Критическое значение влажности  $\varphi = 60\%$ .

При отсутствии воздухоподготовительной установки (осушителя воздуха) эксплуатация вентилируемого бункера непременно сталкивается с проблемой выбора между снижением температуры хранящейся зерновой массы и ее попутным увлажнением. Стойкость зерна, обработанного наружным, предварительно осушенным воздухом пониженной температуры, резко возрастает.

Для работы вентилируемого бункера наиболее приспособленными являются осушители воздуха с влагопоглощающим ротором, располагающим высокими адсорбирующими свойствами. Осушитель воздуха, как правило, оснащен комплексной системой регулирования влажности, снабженной блоком управления и собственно датчиком регулирования производительности системы осушения.

Важнейшей задачей технологии обработки семян и зерна является снижение энергоемкости процесса и предотвращение потерь. Эту задачу можно решить путем использования озона в процессах обработки с.-х. продуктов.

Интенсификацию процессов сушки зерна можно осуществить озонированием сушильного агента (воздуха). Озон обладает выраженным бактерицидным, фунгицидным и дезодорирующим действием, что позволяет использовать

его в процессах послеуборочной обработки семян и зерна, существенно увеличивая сроки их безопасного временного хранения и сокращая время низкотемпературной сушки. Это обеспечивает снижение пиковых нагрузок на зернообрабатывающее оборудование и энергоёмкость процесса. Всероссийским НИИ механизации сельского хозяйства выполнены экспериментальные исследования в лабораторных и производственных условиях по обеззараживанию, стимуляции и сушке семян зерновых культур озono-воздушной смесью. Этими исследованиями установлено, что увеличение сроков безопасного хранения зерна увеличилось в 1,5...2 раза, повышение семенных качеств на 15 %, снижение длительности низкотемпературной сушки и расхода энергии на сушку зерна на 15...20 %.

## **ПРОБЛЕМА ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СУШКИ ЗЕРНА В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ ПУТЁМ АВТОМАТИЗАЦИИ ЗЕРНОСУШИЛОК**

Сидоренко Ю.А., Филиченко А.М., Шимко Ю.А.

УО Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск

Тепловая сушка и хранение являются самыми важными и обязательными операциями послеуборочной обработки зерна, так как его производство сезонно, а потребление круглый год. Из имеющихся в эксплуатации комплексов зерносушильного оборудования, все только частично автоматизированы, а управляют ими операторы вручную, часто не имея своевременной информации о текущем значении влажности готовых продуктов из-за отсутствия поточных влагомеров, а информация лабораторного анализа является запоздалой.

В результате исследований, проведенных в хозяйстве СПК «Днепропетровец» Лоевского района д. Севки, были замечены значительные колебания влажности готовых продуктов: зерна – в пределах 10...17% и более; семян льна и травяной муки – 5...16%.

Все это приводит к снижению качества готовых продуктов и перерасходу энергоресурсов. А если учесть, что по республике объем высушиваемой продукции составляет около 8 млн. тонн, дизельного топлива на их высушивание расходуется примерно 120 тыс. тонн, электроэнергии – 40 млн. кВтч, то убытки хозяйств достигают миллиарды рублей. Кроме того, за счет простоя зерна на корню и дефицита сушильного оборудования, превышающего 30%, хозяйства Республики теряют ежегодно примерно 1 млн. тонн зерна.

Такие высокие затраты энергоресурсов в конечном итоге требуют разработки новых информационных технологий с использованием современных средств вычислительной техники.

Задача управления режимом сушки состоит в поддержании максимальной эффективности работы сушилки. Эффективность технологического процесса оценивают по трем показателям: качеству продукта, производительности и экономичности.

Выбор технологии сушки семенного зерна зависит от его влажности. Если она при уборке не превышает 20%, то семена можно высушить при поточной обработке за один пропуск через сушилку. Снижение влажности за один проход не должно превышать 6%. При влажности 22% целесообразно сочетать подсушку семян на 2...3% в бункерах активного вентилирования атмосферным (при относительной влажности воздуха ниже 65%) или подогретым воздухом с сушкой в сушилках. При более высокой влажности необходима промежуточная отлежка их в бункерах активного вентилирования между двумя пропусками через сушилку. При такой технологии семена после предварительной очистки поступают в сушилку, где подсушиваются на 4...5% и, минуя охладительную колонку, направляются в бункеры активного вентилирования. При продувании атмосферным воздухом семена дополнительно подсыхают на 1...2%. В конце рабочего дня, когда поступление зернового вороха от комбайнов прекратится, семена из бункеров подаются вторично в сушилку для окончательной их подсушки.

Для автоматического контроля влажности зерна в потоке зерносушилки необходимо использовать емкостной датчик-влажномер, который измеряет текущую влажность зерна, корректирует показатели влажности в зависимости от

влияния внешних воздействующих факторов и при достижении кондиционной влажности, выгружает зерно из зерносушилки, а при превышении влажности зерна кондиционного значения прекращает выгрузку зерна и продолжает его сушку. Это повышает точность измерения влажности в потоке зерна без запаздывания сигнала о влажности, точность регулирования процесса сушки зерна, производительность за счет интенсификации процесса сушки, а также качество высушенного продукта.

В настоящее время БГАТУ совместно с НП ООО «Тензодат» и «Амкодор» проводятся исследования по комплексной автоматизации зерносушильных комплексов на базе современной микропроцессорной техники и ПЭВМ.

## **ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СОЗДАНИИ КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ И ПЛАНИРОВАНИЯ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА В ВУЗАХ АПК**

Силкович Ю.Н., Силкович В.В.

УО Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск

Устойчивое развитие университета в условиях глубоких социально-экономических преобразований в стране и формирования новых требований к системе образования во многом обеспечивается эффективностью управленческой деятельности вуза на основе рационального использования его внутренних ресурсов. Добиться успеха в подготовке специалиста нового поколения и «выжить» в непростых рыночных условиях можно только при создании системы четких, целенаправленных и согласованных действий всех методических структур вуза с автоматизированной обработкой информационных потоков, характеризующихся большим объемом, многопрофильностью, сложностью анализа. Одним из ключевых направлений реализации системного подхода в этой области может стать внедрение в рамках осуществляемой в вузе учебно-методической и организационной работы Комплекса взаимосвязанных программно-управленческих модулей: «Учебные планы», «Расчет нагрузки», «Методическое обеспечение», «Учебно-методический комплекс», «Деканат», «Кафедра», «Статистика», «Расписание» и

др. Указанный программный продукт должен функционально связывать все заинтересованные структурные подразделения вуза посредством локальной компьютерной сети университета с централизацией этой деятельности в учебном отделе.

Процесс организации и планирования учебно-методической работы в вузе является сложным, многофакторным, требующим принятия ответственных, порой неординарных решений. Разработка и внедрение в университете указанного программного комплекса явится тем инструментарием, который позволит постоянно совершенствовать систему качественной подготовки специалистов. При этом актуализируется способность вуза в условиях динамично развивающейся системы образования оперативно реагировать на веяния времени и запросы рынка труда, внося соответствующие изменения в методологию организации учебного процесса.

Внедрение современных информационных технологий в практику проектирования специальностей и специализаций позволяет оказывать разработчикам образовательных моделей информационно-методическую поддержку и осуществлять координацию этой деятельности на всех уровнях: кафедра-факультет-вуз. На стадии проектирования подготовки специалиста целесообразно разработать и отразить в программных модулях «Учебные планы» и «Методическое обеспечение» схему межпредметных связей с матрицей согласования дисциплин учебного плана по конкретным разделам (темам) курса. Матрица позволит четко распределить содержание образования между дисциплинами кафедр с целью исключения дублирования учебного материала и повысить ответственность проектировщиков за качество учебно-методической программной документации. Важной представляется возможность анализировать и унифицировать дисциплины учебных планов различных специальностей в масштабе вуза, что позволит сократить объемы учебно-методической документации.

Создаваемая авторами тезисов программа позволит моделировать эффективность организации учебного процесса по разрабатываемым рабочим учебным планам в соответствии с планируемым контингентом студентов и проводить соответствующий анализ как на учебный год, так и на весь период обучения по каждой специальности, факультету, вузу в целом. Предусматривается возможность

определения удельных затрат времени на обучение 1 студента, а также средней нагрузки преподавателя, что позволяет оценить целесообразность осуществления набора на ту или иную специальность и рациональность формирования контингента студентов по группам и потокам.

Уровень подготовки специалистов во многом зависит от организации учебно-методической работы вуза, в частности – от учета и контроля качества и своевременности разработки и пересмотра рабочей программно-методической документации по дисциплинам учебных планов специальностей. Мы предлагаем автоматизировать этот трудоемкий процесс и создать программный модуль «Методическое обеспечение», представляющий собой целенаправленно организованный комплекс функционально взаимосвязанных операций, позволяющих осуществлять анализ состояния учебно-методического обеспечения дисциплин учебных планов по специальностям и выработать требования для подготовки новых учебно-методических материалов и корректировке уже разработанных.

Особый интерес для организации дистанционной работы студентов с учебно-методическими материалами и их самоподготовки представляет программно-управленческий модуль «Учебно-методический комплекс» (УМК). Внедрение в учебный процесс сетевых УМК ориентирует обучающихся на повседневную творческую, поисковую работу по добыванию новых знаний, моделированию профессиональной деятельности через решение учебных задач. Система поиска позволит студенту, имеющему право доступа к пользованию УМК (индивидуальный логин, пароль) получать необходимую ему информацию в электронном виде по заданным критериям.

Разработка и внедрение в высшей школе Комплекса программно-управленческих модулей позволит в рамках реализации инновационной стратегии целостного образовательного процесса осуществить переход учреждения образования на новый уровень организационно-методического обеспечения, оптимизировать методы планирования и организации учебного процесса, упорядочить информационные потоки между структурными подразделениями университета. Это даст

мощный импульс совершенствованию системы управления качеством подготовки специалистов и повышению конкурентоспособности вуза в рыночных условиях.

## К ВОПРОСУ КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ЗЕРНА ПРИ ЕГО ХРАНЕНИИ НА ЭЛЕВАТОРАХ

Шевчик Н.Е.

УО Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск  
Солдатенко А.А., НИПТИхлебопродукт, г. Минск

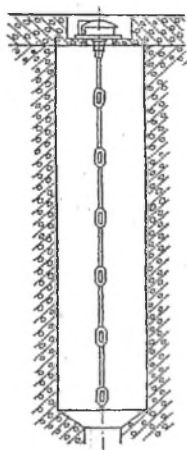


Рисунок 1. Силос с термоподвеской

При хранении зерна возникает проблема контроля его качества. Снижение качества всегда проявляется в повышении температуры хранящегося материала. Для того, чтобы обеспечить сохранность этого зерна требуется контроль температуры. На элеваторах зерно в основном хранится в бетонных емкостях (силосах), диаметром 6 или 9 м и высотой 30 м. Чтобы осуществить контроль температуры в них требуется система дистанционного измерения температуры.

В существующих системах термометрии широко применяют медные терморезисторы. Их монтируют в термоподвесках, устанавливаемых в силосах элеваторов (рисунок 1). Важное требование к этому типу датчика — повышенная механическая прочность на разрыв крепежного

троса. Трос выполняют из специального кабеля элеваторного марки КЭВ-7ХО, 75 мм<sup>2</sup>. Броня кабеля трехслойная. Первые два слоя изготовлены из стальной проволоки, наружный — из бронеленты. Наружный диаметр кабель-троса равен 18,9 мм. Данные измерений передаются на пульт через устройство дистанционного контроля. В качестве измерительных реле применяют герметизированные реле постоянного тока РМУГ. В каждом релейном шкафу их смон-

тировано 29 штук. В качестве вторичного прибора применяют логометр Л-64. Диапазон измерения температуры  $-3...+50^{\circ}\text{C}$  при погрешности  $\pm 2,5^{\circ}\text{C}$ .

На пульте переключателем оператор выбирает требуемый силовый корпус. Включается реле выбранного силового корпуса, вторым переключателем выбирают релейный шкаф, третьим переключателем выбирают термоподвеску – подключаются цепи терморезистор к логометру. Затем выбирают требуемый терморезистор. Значение температуры требуемого резистора отображает логометр.

Недостатки указанной системы:

1. Низкая точность измерений
2. Требуется сезонная коррекция точности измерений, связанная с терморезисторами и влиянием на точность измерений длины кабеля.
3. Повышенный расход кабеля.

Поэтому была разработана система дистанционного измерения температуры «ТЕРМО» (рисунок 2). Основное отличие предлагаемой системы в использовании цифровых термодатчиков. С датчика поступает не аналоговый сигнал, а в виде цифры. Система состоит из модуля коммутации и индикации – далее термоконтроллер и модулей термоподвески. Результаты измерения отображаются на жидкокристаллическом индикаторе в градусах Цельсия и выводятся на монитор ПЭВМ. Диапазон измерения температуры от минус 30 до плюс  $70^{\circ}\text{C}$  с погрешностью  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ .

Система обеспечивает следующие функции:

- непрерывную световую сигнализацию процесса опроса модулей термоподвесок;
- непрерывную световую сигнализацию наличия напряжения питания;
- сигнализацию короткого замыкания в модулях термоподвесок.

Система имеет последовательный интерфейс для работы с ПЭВМ (RS 485). Скорость обмена данными – 57600 бод. Максимальное количество подключаемых модулей коммутации и индикации в один сегмент локальной сети – 31 абонент. Максимальная длина одного сегмента локальной сети – 1000 м.

Диапазон питающего напряжения – от 19,2 В до 28,8 В.

Потребляемый ток, не более – 0,3 А.

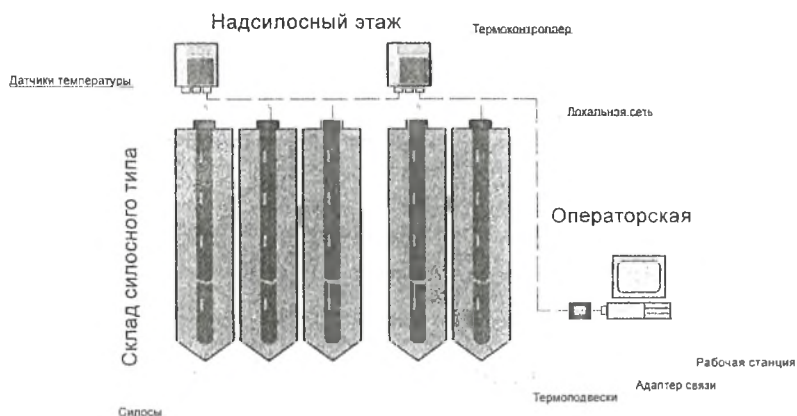
Время установления рабочего режима, не более – 20 с.

Время установления показаний, не менее – 20 мин.

Максимальное количество модулей термоподвесок, подключаемых к модулю коммутации и индикации – 12 шт.

Максимальное количество чувствительных элементов в модуле термоподвески – 10 шт.

Рисунок 2 Структурная схема системы дистанционного измерения температуры ТЕРМО



Система внесена в Государственный Реестр средств измерения Республики Беларусь.

# АВТОМАТИЗАЦИЯ РАЗРАБОТКИ СТРУКТУРЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПРОЕКТА АВТОМАТИЗАЦИИ ПОТОЧНОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЛИНИИ

Якубовская Е.С.

УО Белорусский государственный аграрный  
технический университет, г. Минск

Традиционно наибольшее количество времени при разработке системы автоматического управления поточной технологической линией тратится на составление структуры управления оборудованием технологического процесса. Современные пакеты электротехнических САПР, такие как CADElectro, Electrics, WS-CAD, Pschematic реализуют технологию сквозного проектирования документации и значительно облегчают труд инженера проектировщика, однако ни одна САПР не дает инструмента, который бы позволил разработать структуру принципиальной электрической схемы управления установкой или технологическим процессом. Они лишь предлагают фактически функции оформления схемы с помощью компьютера. Между тем давно известна теория синтеза релейно-

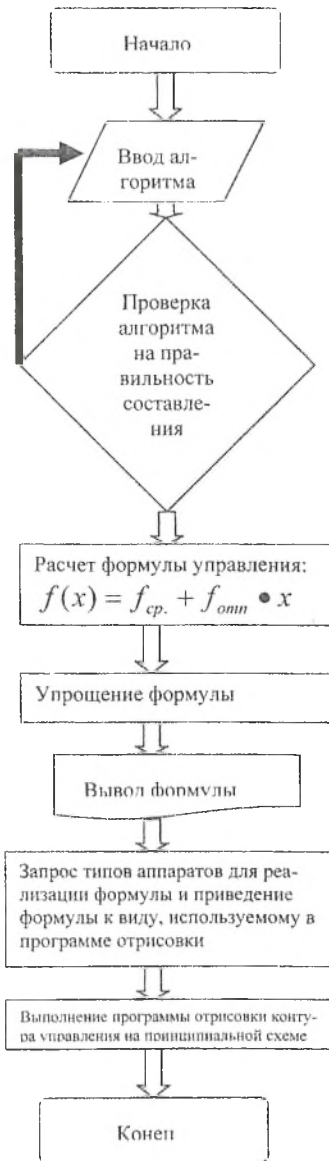


Рис. 1 Алгоритм

контактных схем [1], которая требует лишь приведения к виду, удобному для написания программы, реализующей разработку структуры управления. Основанием для разработки структуры схемы управления является алгоритм управления технологическим процессом. Он должен быть представлен в символической форме, удобной для расчета. Для разработки структуры управления отдельным исполнительным механизмом необходимо выделить элементы, влияющие на его работу, и разработать частный алгоритм управления, обычно представляемый в виде частной тактовой таблицы включения [3, с.56]. По данной таблице легко реализовать структурную формулу управления, состоящую из двух частей: формулы срабатывания и произведения формулы отпускания на контакт исполнительного механизма. В формулу срабатывания и отпускания входят произведения контактов, обеспечивающих замкнутую цепь для исполнительного механизма в такте соответственно включения и отключения. Далее данную формулу можно упростить, анализируя какие произведения обеспечивают замкнутую цепь в тактах работы исполнительного механизма. Структурная формула управления является основой программы управления, если устройство управления реализовано на контроллере, либо основой принципиальной электрической схемы, если устройство управления реализовано на базе релейно-контактной аппаратуры [3].

Таким образом, программа разработки структуры схемы управления должна отвечать следующим требованиям:

- запрашивать алгоритм управления исполнительным механизмом;
- по алгоритму рассчитывать структурную формулу управления согласно принципам, описанным выше;
- если пользователь согласен с формулой управления, реализовывать ее в принципиальной электрической схеме управления.

Для реализации данных требований выбран язык программирования

AutoLisp, для отрисовки принципиальной электрической схемы управления - графический редактор AutoCAD, для диалога с пользователем – язык DCL, обеспечивающий разработку диалоговых окон. Алгоритм программы приведен на рис. 1.

В результате работы с программой достаточно быстро получаем принципиальную схему управления, пример которой приведен на рис. 2.

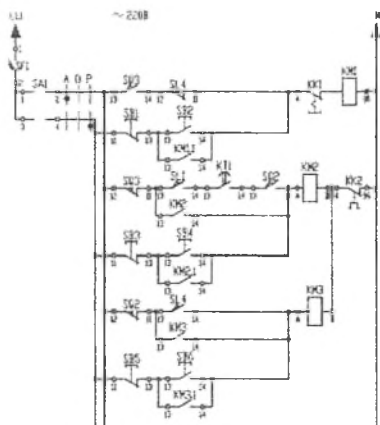


Рис. 2 Пример выполнения принципиальной схемы управления с помощью программы расчета структуры

- значительное сокращение времени на разработку принципиальной электрической схемы управления

Программа обеспечивает:

- реализацию математического аппарата синтеза релейно-контактной логики;

### Литература

1. Курсовое и дипломное проектирование по автоматизации технологических процессов / Ф.Я. Изаков, В.Р. Казадаев, А.Х. Ройтман, Б.В. Шмаков. – Москва: Агропромиздат, 1988. — 183 с.
2. Фурсенко, С.Н. Разработка проекта автоматизации технологических процессов: учебно-методическое пособие / С.Н. Фурсенко, Е.С. Якубовская, Е.С. Волкова. – Минск : БГАТУ.- 2003. – 217с.
3. Фурсенко, С.Н. Автоматизация технологических процессов: учеб. пособие / С.Н. Фурсенко, Е.С. Якубовская, Е.С. Волкова. — Минск: БГАТУ, 2007. – 592с.

## ЭНЕРГЕТИКА, ЭКОЛОГИЯ, ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ

И.В. Войтов,

Государственный комитет по науке и технологиям Республики Беларусь

Важнейшим направлением инновационного развития Республики Беларусь, предусмотренным Государственной программой инновационного развития Республики Беларусь на 2007-2010 годы, утвержденной Указом Президента Республики Беларусь от 26 марта 2007 г. № 136, является обеспечение энергетической безопасности страны, развитие большой, малой, нетрадиционной, энергоэффективной, «возобновляемой», «местной» энергетики с учетом соблюдения экологических стандартов. За последние годы Республика Беларусь достигла высоких показателей в экономическом развитии. Достаточно сказать, что за прошедшую пятилетку объем ВВП увеличился в 1,5 раза, в 2005 г. республика занимала 7-е место в мире по темпам роста ВВП.

За последние годы увеличилась доля потребления газа в первичном энергопотреблении (около 60 %), в то же время доля использования топливных ресурсов белорусского происхождения, не смотря на незначительный рост, все же пока не велика (около 17 %). Учитывая значительный рост мировых цен на основные топливно-энергетические ресурсы, органами государственного управления Республики Беларусь было с научно-технической, экономической и экологической точек зрения проанализировано развитие энергетики, подготовлены и приняты такие важные решения Главы Государства и Правительства, как Указ Президента от 25 августа 2005 года №399, которым утверждена «Государственная комплексная программа модернизации основных производственных фондов Белорусской энергетической системы, энергосбережения и увеличения доли использования в республике собственных топливно-энергетических ресурсов

на 2006-2010 годы», Постановление Правительства от 30.12.2004 г. №1680, которым утверждена «Целевая комплексная программа обеспечения в республике не менее 25 процентов объема производства электрической и тепловой энергии за счет использования местных видов топлива и альтернативных источников энергии на период до 2012 года», Директива Президента № 3 «Экономия и бережливость- главные факторы экономической безопасности государства» и др.

Основными факторами, влияющими на принятие новых решений в последние два года в инновационном развитии энергетической отрасли, явились относительно высокая энергоемкость экономики, высокая степень износа основных производственных фондов топливно-энергетического комплекса страны, высокая стоимость импортируемых энергоресурсов и топливно-энергетических ресурсов, недостаточность инвестиций в ТЭК и не высокая обеспеченность собственными топливно-энергетическими ресурсами.

Для обеспечения инновационного развития энергетической отрасли на государственном уровне будут реализовываться следующие основные мероприятия. Строительство новых ГЭС, АЭС, тепловых электростанций.

Модернизация и повышение эффективности использования основных производственных фондов топливно-энергетического комплекса.

Максимальное вовлечение в топливно-энергетический баланс собственных топливно-энергетических ресурсов (бурого угля, нефти, продуктов нефтепереработки, попутного газа, торфа, древесных отходов, дровяного топлива, возобновляемых источников энергии, вторичных энергоресурсов, отходов производства и потребления и т.д.). Внедрение использования биотоплива, сжатого и сжиженного газа, биодизеля, биоэтанола, сжиженного попутного газа, синтетического жидкого топлива. Внедрение современных низкотратных энергетических технологий.

Преимущественное внедрение и развитие менее энергоемких технологий в отраслях. Диверсификация поставок энергоносителей. Развитие прикладных и фундаментальных научно-исследовательских работ в энергосбережении, энергетическом использовании биомассы, геотермальных вод, водорода, ветрогелиоэнергетики и других энергоносителей. Улучшение инвестиционной политики в области энергосбережения и энергетики. Подготовка квалифицированных (в том числе высших научных) кадров в области управления топливно-энергетическим комплексом.

Приоритетное внедрение новых энергосберегающих технологий в энергоемкие производства (термическое, гальваническое, химико-термическое, литейное и др.). Организация новых инновационных производств энергетического оборудования (газогенерирующие установки, контрольно-измерительные приборы, АСУ, трансформаторы, электродвигатели, промышленные печи и сушилки, лесозаготовительная техника, контейнеры, футеровочные материалы, винтовые компрессоры, тепловые насосы, дымососы, вентиляторы, теплообменники, запорная арматура, горелочные устройства, энергетические котлы, биогазовые установки и т.д.)

Развитие нормативной правовой базы в области стимулирования энергосбережения и расширения использования возобновляемых и местных источников энергии (законы, регламенты, стандарты). Для обеспечения экологической безопасности развития энергетического комплекса страны планируется проведение следующих мероприятий. Строительство эффективных систем очистки отходящих газов энергетических установок от диоксида серы, оксидов азота, диоксида углерода, твердых частиц. Утилизация продуктов сгорания ( $SO_2$ ,  $CO_2$ ) с производством углекислоты и серной кислоты. Использование многостадийного сжигания топлива в печах и котлах с использованием специальных горелочных устройств. Разработка и

использование низкоэмиссионных газогорелочных устройств в целях снижения содержания азота в выбросах и др.

Государственная программа инновационного развития Республики Беларусь предусматривает приоритетными направлениями обеспечения энергетической безопасности страны проведение энергосберегающей политики, внедрение энергосберегающих технологий, диверсификацию источников получения энергоресурсов, расширение их транзита через территорию Республики Беларусь, развитие логистических схем. Это предполагает следующую программу действий, некоторые из мероприятий которой хотелось бы выделить особо.

Проектирование и строительство АЭС, разработка новых и усовершенствование существующих ядерно-физических, радиационных и изотопных технологии необходимых для обеспечения энергетической безопасности (это может обеспечить прирост до 5 млн. тонн условного топлива).

Освоение использования собственных ресурсов угля и горючих сланцев. Запланировано освоение технологии термохимической переработки местных природных ресурсов с получением жидких и газообразных энергоносителей. В целом целесообразность промышленного освоения углей и сланцев Беларуси повысится при их переработке как комплексного энерготехнологического сырья с максимальной утилизацией получаемых продуктов в промышленности. Главной проблемой является минимизация выбросов загрязняющих веществ, в том числе парниковых газов.

В составе торфяного фонда Беларуси имеются запасы особо ценных видов сырья: битуминозного, сфагнового, грязелечебного. На сегодняшний день коэффициент использования залежи составляет около 0,5, поэтому извлекаемые запасы торфа могут быть увеличены за счет применения новых технологий, предусматривающих повышение коэффициента использования до 0,7-0,8. Извлекаемые запасы разрабатываемого фонда составляют сейчас

около 250 млн. т., геологическая оценка запасов торфа – 5700 млн. т., разведано и не определено назначением около 170 млн. т. Эффективность энергетического использования торфа, как и для биомассы, заметно возрастает при его пиллетировании. Предусматривается расширение использования торфа как энергетического топлива, для чего разрабатывается государственная программа обоснования вовлечения данного ресурса в топливно-энергетический оборот.

Из возобновляемых источников энергии быстрее и полнее всего может быть развернута гидроэнергетика: потенциальная гидроэнергетическая мощность всех водотоков Беларуси составляет более 850 МВт, технически доступная – 520 МВт, экономически целесообразная – 250 МВт. Планируется сооружение новых, реконструкция и восстановление существующих ГЭС. Единичная мощность запроектированных гидроагрегатов находится в диапазоне от 50 до 5000 кВт, при этом предпочтение отдается новым быстроремонтируемым гидроагрегатам капсульного типа.

При мощностях гидроагрегатов от 50 до 150 кВт в качестве гидрогенераторов возможно широкое использование асинхронных генераторов как более простых и надежных в эксплуатации. Планируется строительство гидроэлектростанций – Гродненской, Полоцкой, на реке Щара и других. Строительство ГЭС является путем решения проблем импорта топлива, а также улучшения экологической обстановки. Внедрению малых ГЭС способствует наличие значительного количества водоподпорных сооружений с напором не менее двух метров, которые в настоящий момент не оборудованы гидроагрегатами, что существенно снижает капитальные затраты на их строительство, и делает их более привлекательными, чем ветроэнергетические установки. Недостаток – ограниченный потенциал.

На территории республики выявлено 1680 площадок для размещения ветроустановок с общим энергетическим потенциалом более 1600 МВт. Прогнозируемая установленная мощность на 2010 год – 4,1 МВт, на 2012 год

– 5,2 МВт, на 2020 – 20 МВт. Планируется строительство ветроэнергетической установки вблизи г. Новогрудок установленной мощностью 1500кВт (Ожидаемый срок ввода – 2008 год). Технологии строительства ВЭУ хорошо отработаны в странах ЕС. Существенным плюсом ветроэнергетики является то, что она требует сравнительно небольших капиталовложений, по окончании монтажных работ ВЭУ сразу же начинают вырабатывать энергию, после завершения срока службы легко демонтируются и заменяются на новые. В Беларуси целесообразно и планируется наладить производство ветроэнергетических высотных установок (50-70 м).

Использование солнечной энергии в Республике Беларусь в настоящий момент почти целиком ограничено гелионагревателями и различными установками для интенсификации процессов сушки и подогрева воды в сельскохозяйственном производстве. При благоприятных условиях планируется замещение 5 тыс. т.у.т. к 2012 году. Применение фотоэлектрических схем с использованием новых технологий планируется значительно расширить.

Геотермальная энергия. В республике обнаружены две территории в Гомельской и Брестской областях с запасами геотермальных вод плотностью более 2 т. у. т./кв. м. и температурой 50° С на глубине 1,4-1,8 км и 90 - 100° С на глубине 3,8-4,2 км. Запланировано вовлечение этого энергетического ресурса в энергетический оборот. Имеющиеся проблемы, такие как высокая минерализация, низкая производительность имеющихся скважин, их малое количество, слабая изученность, находятся в стадии технологического решения.

Необходимо учитывать, что при использовании гидро-, ветро- и гелиоэнергетики страна может получить определенные инвестиции в рамках реализации Киотского протокола.

Достаточно велик потенциал биотоплива в Республике Беларусь. Наиболее распространенными видами местного топлива являются: древесное биотопливо (пеллеты, дрова, отходы деревообработки, опилки, кора, стружка, лесосечные отходы), биомасса растительного происхождения, промышленные и коммунально-бытовые отходы.

Беларусь обладает значительными лесными ресурсами. Ежегодный текущий прирост древесины составляет 32,37 млн. куб. м. Потенциал древесины как топливного ресурса оценивается на уровне 3,5-3,7 млн. т. у. т. (тонн условного топлива) в год. Планируется создание целого законченного цикла от разработки лесососечного фонда, транспортировки, переработки лесной древесины, до производства щепы, пеллет и внедрения новых технологий их сжигания и т.д.

Получение биогаза из отходов животноводческих комплексов, коммунальных очистных сооружений и промышленных предприятий, с учетом получения побочных продуктов – например, удобрений, является важным инновационным направлением. По предварительным оценкам только в агропромышленном комплексе целесообразно создание около 320 биогазовых энергетических установок. Потенциал товарного биогаза оценивается в 160 тыс. т.у.т. В Беларуси уже заканчивается строительство 3 биогазовых комплексов на животноводческих и птицеводческих комплексах, запланировано в 2008 году строительство еще 5.

Особое внимание уделяется вновь строящимся ТЭЦ на местных видах топлива, усовершенствованию технологий сжигания топлива в кипящем слое, установке высокоэффективных систем золоулавливания и подавления выбросов вредных веществ в атмосферу. В ряде населенных пунктов предусмотрен ввод новых объектов: малые ТЭЦ с использованием местных видов топлива (дрова, торф), в частности в Борисове; котлы для сжигания лигнина, мини-ТЭЦ в городах Витебске, Жлобине и Лиде и др.

Производство биодизельного топлива из рапса в настоящий момент реализуется на ПО «Гродно-Азот». Программа производства биодизельного и биоэтанольного топлива перспективна. Потенциал биодизельного и биоэтанольного топлива оценивается в размере до 1 млн. т. у.

Тепловые насосы. Важнейшей особенностью тепловых насосов является универсальность по отношению к виду используемой энергии, что позволяет оптимизировать топливный баланс энергоисточников путем замены более дефицитных энергоресурсов менее дефицитными. В настоящий момент существующие тарифы на тепловую и электроэнергию не сдерживают их внедрение. Тем не менее, с чисто энергетической точки зрения они могут быть весьма выгодны в текущих условиях: в случае утилизации теплых сточных вод, и при замене ими электронагревательных приборов, бойлеров и т.п., а также при использовании для привода теплового насоса не электропривода. Особенно интересно в этой связи использование низкопотенциальной тепловой энергии для привода теплонасосных установок, поскольку применение тепловых насосов, как и теплового привода, подразумевает наличие перепада температур. Хороший эффект дает и дизельный привод теплового насоса. Планируется создание ряда производств по выпуску тепловых насосов в Беларуси.

Энергосбережение предусматривает совершенствование систем освещения, отопления, охлаждения, кондиционирования, модернизацию объектов жилого и коммунального секторов, повышение эффективности генерирующих источников (повышение КПД), минимизацию утечек и разливов ископаемых топлив, снижение энергоемкости и материалоемкости производства, утилизацию и повторное использование тепла, утилизацию отходов. Данные мероприятия также предусмотрены в программе.

Детандергенераторные установки. В настоящее время на электростанциях, сжигающих природный газ, внедряются детандергенераторные установки (ДГУ), которые используют потенциальную

энергию избыточного давления топливного газа для выработки электроэнергии. Такие установки внедрены и на крупнейших тепловых электростанциях Беларуси – Лукомльской ГРЭС и Минской ТЭЦ-4. ДГУ включаются в тепловую схему станции, поскольку подогрев расширяемого в детандере газа осуществляется отборным паром турбоустановок. Эта технология позволяет увеличить выработку электроэнергии – а также снизить выбросы тепла в окружающую среду. Например, установив детандаргенераторную установку на энергоблок №1 Минской ТЭЦ-5, будет увеличен общий КПД станции на 1,7%. Программой предусматривается развитие данного направления.

Теплообменные устройства сохраняют значительную часть тепловой энергии. Большой потенциал энергосбережения имеет автоматизация отопительных **устройств**. Гибкий температурный график позволяет экономить до 40% тепловой энергии на отопление.

Теплоизоляция – позволяет снизить тепловые потери различного рода до 1,5 раз. Например, теплоизолированные трубы. До недавнего времени потери в тепловых сетях коммунального теплоснабжения и горячего водоснабжения не редко превышали 20-30%. Спиралеобразные предварительно изолированные трубы, не требуют строительства компенсаторов, в результате чего уменьшаются габариты системы и стоимость строительно-монтажных работ. Разработка технологии и оборудования спиралеобразных предварительно изолированных труб и создание производства в рамках госпрограммы предусмотрена на СП "Белизолит". Теплоизоляция зданий окупается за 5 – 13 лет, в зависимости от типа.

Когенерация, т.е. совместное производство тепловой и электрической энергии направлено на правильное использование энергетических потенциалов. Действительно, котельная не полностью использует заложенную в топливо способность к совершению работы, электростанция же, не обеспечивающая теплофикации, теряет в качестве бросового тепло, в

котором нуждается много потребителей. Внедрение когенерационных установок также является важным направлением программы.

Важным мероприятием Государственной программы инновационного развития является подготовка и повышение квалификации кадров для инновационной деятельности. Планируется в области использования возобновляемых источников энергии совместно с организациями ФРГ, с участием программ Евросоюза, создание на базе БГАТУ, Международного экологического университета им. А.Д. Сахарова, РУП «Белинвестэнергосбережение» Международного образовательного центра (с выставочными полигонами) по инновационным энергетическим технологиям с полным набором промышленных демонстрационных установок для образования, экспертизы, развития бизнеса.

## Содержание

### Пленарное заседание

Вступительное слово ректора УО «БГАТУ» Казаровца Н.В. на пленарном заседании .....	3
Научно-техническое обеспечение энергетической безопасности АПК. Русан В.И., УО БГАТУ, г. Минск .....	6
Энергосбережение как результат оптимизации системы энергообеспечения производства по энергоемкости продукции. Карпов В.Н., Иванникова Н.Ю., С.-П. ГАУ, г. С.-Петербург, Пушкин .....	13
Энергосберегающие интеллектуальные системы управления в тепличном овощеводстве. Герасимович Л.С. ЧУО «ИСЗ», г. Минск .....	16
Перспективы ядерной релятивистской энергетики. Маньшин Г.Г., Корбут Н.А., Малько М.В., Сорокин В.Н., Сорокин В.В. МНОО «МАИТ», ОИЭ и ЯИ – Сосны НАН Беларуси, г. Минск .....	22
Состояние и основные мероприятия по энергосбережению в АПК Беларуси. Русан В.И., Букато В.М., УО БГАТУ, ООО «МНВЦЭ Энерготехно», г. Минск .....	28
Установка утилизации сбросного тепла при понижении температуры приточного воздуха. Лебедев Д.П., Шаталов М.П., Самсонова Е.А. ГНУ ВИЭСХ, г. Москва .....	34

### Секция 1 «Энергообеспечение АПК»

Учет неопределенности исходной информации при выборе электрооборудования. Анищенко В.А., Кирспу А.Ю., УО БНТУ, г. Минск .....	37
Обнаружение дефектов в обмотках электрооборудования. Брановицкий И.И., Размыслович Г.И., Мацкевич П.Д., Институт прикладной физики НАН Б, г. Минск .....	40
Расчет электромагнитных процессов в вертикальном цилиндрическом заземлителе. Герасимович Д.А., Дерюгина Е.А., УО БНТУ, г. Минск .....	43
Особенности энергообеспечения агрогородков. Герасимович Л.С., ЧУП Институт современных знаний; Шульга В.А., Могилевский облисполком; Шестерень В.Е., УО БГАТУ, г. Минск .....	46
Снижение несинусоидальности напряжения в электроустановках с регуляторами частоты. Збродыга В.М., Янукович Г.И., Сердешнов А.П., УО БГАТУ, г. Минск .....	49
Оптимизация электрических нагрузок при скачкообразных изменениях режимов электропотребления. Колесник Ю.Н., Иванейчик А.В., УО «ГГТУ им. П.О. Сухого», г. Гомель .....	51
Термолабильность электрофизических характеристик зерна злаков. Корко В.С. УО БГАТУ, г. Минск .....	54
Анализ обеспеченности электроэнергией потребителей Республики Беларусь. Королевич Н.Г., Янукович Г.И. УО БГАТУ, г. Минск .....	57

О развитии технического сервиса энергетического оборудования в АПК. Русан В.И., УО БГАТУ, г. Минск .....	68
Основные положения методики расчета продолжительности отключения потребителей АПК при повреждении элементов схемы электроснабжения. Русан В.И., УО БГАТУ, г. Минск; Пухальская О.Ю., УО «ГГТУ им. П.О. Сухого», г. Гомель .....	71
К вопросу учета фактора уровня надежности электроснабжения потребителей в тарифах на электроэнергию. Русан В.И., УО БГАТУ, г. Минск; Пухальская О.Ю., УО «ГГТУ им. П.О. Сухого», г. Гомель .....	76
Моделирование оптимальных экологических условий при эксплуатации энергетических установок. Салова Т.Ю., СПбГАУ, г. С.-Петербург .....	78
Упрощенная оценка электродинамической стойкости гибкой ошиновки электростанций. Сергей И.И., Андрукевич А.П., УО БНТУ, г. Минск .....	81
Моделирование пляски одиночных проводов воздушных ЛЭП с учетом гасителей колебаний. Сергей И.И., Климович П.И., УО БНТУ, г. Минск .....	84
Энергосбережение при работе трехфазных асинхронных двигателей после частичного ремонта обмотки. Сердешнов А.П., Базулина Т.Г., УО БГАТУ, г. Минск .....	87
Состояние и повышение эксплуатационной надежности силовых масляных трансформаторов в сельских электрических сетях. Сердешнов А.П., Усов Г.Г., Кожарнович Г.И., УО БГАТУ, г. Минск .....	89
К вопросу использования стандартов на качество электрической энергии. Сердешнов А.П., Шевчик Н.Е., УО БГАТУ, г. Минск; Солдатенко А.А., Шевчик А.Н., ГУ «НИПТИХлебопродукт», г. Минск .....	95
Трансформатор $Y/Y_n$ с симметрирующим устройством. Сердешнов А.П., Янукович Г.И., Шевчик Н.Е., Протосовицкий И.В., УО БГАТУ, г. Минск .....	98
Использование технических средств управления на малых ГЭС, подключенных к энергосистеме. Счастны В.П., Зеленкевич А.И., УО БГАТУ, г. Минск .....	101
Автоматизированное управление трансформаторами производственных предприятий. Трушников А.Л., Радкевич В.Н., УО БНТУ, г. Минск .....	105
Экономичные технологии дуговой наплавки для восстановления деталей с большим износом. Хроленок В.В., Логвинович П.Н., УО БГАТУ, г. Минск .....	107
<b>Секция 2 «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии»</b>	
Экологические источники энергии. Благодарный В.М., Кочурко В.И. УО «БарГУ», г. Барановичи .....	110
Биогаз и его использование. Горбай П., ТУ, г. Кошице, Словакия .....	114
Повышение точности измерения процессов экспертной системой дизель-генератора за счет оптимизации фильтрации. Добролюбов И.П., Савченко О.Ф. СФТИ АП, г. Новосибирск .....	118
О возможности использования опыта стран северо-восточной Азии по применению альтернативных источников энергии в АПК Беларуси. Дудик В.Ф. АУ при Президенте РБ, г. Минск .....	126

Перспективы применения этанола и вытекающие преобразования сельского хозяйства в США. Клочков А.В., Д. Шпаар, Клочков М.А., УО БГСА, г. Горки, Германия, США .....	129
Необходимость снижения расхода энергоресурсов в системе собственных нужд ТЭЦ. Козловская В.Б., Орлов И.А. УО БНТУ, г. Минск .....	133
Использование местных энергоресурсов в АПК Беларуси. Кузьмич В.В., РУП НПЦ НАН Б по механизации сельского хозяйства, г. Минск .....	135
Перспективы увеличения использования древесного топлива в Республике Беларусь. Ледницкий А.В., УО БГТУ, г. Минск .....	138
Повышение эффективности работы котельных АГК путем внедрения когенерационных технологий. Малайчук Л.М., С.-П. ГАУ, г. С.-Петербург .....	144
Зарубежный опыт использования возобновляемых источников энергий для повышения энергетической безопасности государства. Прищепов М.А., Гаркуша К.Э., УО БГАТУ, г. Минск .....	147
Технико-экономическая эффективность применения теплоутилизаторов в отопительно-вентиляционных системах. Прищепов М.А., Цубанов И.А., Цубанова И.А., УО БГАТУ, г. Минск .....	151
Оптимизация габаритов кожухотрубных теплоутилизаторов. Прищепов М.А., Цубанов И.А., Цубанова И.А., УО БГАТУ, г. Минск .....	153
Условия эффективного использования энергии ветра и определение основных технических характеристик ВЭУ. Русан В.И., Казак А.В., УО БГАТУ, РУП «НПЦ НАН Б по механизации сельского хозяйства» г. Минск .....	155
Региональный уровень энергообеспечения и его влияние на энергосбережение и окружающую среду. Русан В.И., Ходыко С.С., УО БГАТУ, г. Минск .....	161
О применении энергоресурсосберегающих технологий при строительстве агрогородков. Русан В.И., Чугаевский Е.В., УО БГАТУ, г. Минск .....	168
Нестационарное температурное поле теплоизолированного слоя гелиоколлектора конечной толщины. Соболев В.Р., Кириленко А.И. УО БГАТУ, МГВАК, г. Минск .....	173
Бесплотинная гидроэлектрическая станция. Сычик В.А., Русан В.И., УО БНТУ, УО БГАТУ, г. Минск .....	176
Высокоэффективная электростанция с вращательным водяным потоком. Сычик В.А., Русан В.И., УО БНТУ, УО БГАТУ, г. Минск .....	179
Эффективное использование местных видов топлива. Усов Г.Г., УО БГАТУ, г. Минск; Микулич С.И., Глубокские электрические сети, г. Глубокое .....	182
Газификация смесей торфа, древесных и полимерных отходов. Фалюшин П.Л., Ловкис В.Б., Гаель И.А., Кожурин В.Н. УО БГАТУ, ИПИПР и Э НАН Б, г. Минск .....	186
Гелиоаэробарическая теплоэлектростанция (ГАБТЭС). Чабанов А.И., РАЕН, г. Симферополь; Чабанов В.А., ЗАО «Интергелиогактика», г. Москва; Соловьев А.А., МГУ, г. Москва; Сычев М.П., Ю.П. Сидоренко, г. Минск .....	189

Возможности рапса как альтернативы дизельному топливу. Чернышей С.С., УО БГАТУ, г. Минск .....	193
--	-----

### Секция 3 «Электротехнология и электрооборудование АПК»

Способы определения коэффициента потерь мощности асинхронного электродвигателя. Бабаева Е.В., УО БГАТУ, г. Минск .....	196
Методика определения эффективности катализаторов, используемых для фотокаталитической очистки воздуха. Бовкунович И.А., Гаркуша К.Э., УО БГАТУ, г. Минск .....	201
Электронно-ионный способ внесения жидких консервантов в технологии заготовки плющенного зерна. Воробьев Д.В., УО БГСА, г. Горки .....	204
Особенности расчета целевого показателя энергосбережения для сушки зерновых. Гаркуша К.Э., Коротинский В.А., УО БГАТУ, г. Минск .....	207
Магнитные свойства сплавов $Mn_{1-x}Sb$ ( $0 \leq x \leq 0,5$ ), подвергнутых термобарической обработке. Гончаров В.С., ОИФТТП НАН Б, г. Минск, Дымонт В.П., УО БГАТУ, г. Минск .....	210
Анализ способов защиты изоляции обмоток асинхронных электродвигателей от увлажнения. Гурин В.В., УО БГАТУ, г. Минск .....	213
Регулирование производительности дробилок и плющилок зерна. Дайнеко В.А., Прищепова Е.М., УО БГАТУ, г. Минск .....	215
Измерительные преобразователи для электропривода измельчающих машин. Дайнеко В.А., УО БГАТУ, г. Минск, Цховребов А.А., БарГУ, г. Минск .....	217
Применение улучшенных люминофоров для светодиодов, используемых в энергосберегающих системах освещения. Добродей А.О., ГГТУ им. П.О. Сухого, г. Гомель .....	219
Основы механизма электрокоагуляции белков картофельного сока. Дубодел И.Б., Кривовязенко Д.И., УО БГАТУ, г. Минск .....	223
Применение современных технологий при прокладке внутриквартальных тепловых сетей. Зайцева Н.К., Гаркуша К.Э., Коротинский В.А., Жалобкевич А.Л., УО БГАТУ, г. Минск, Пархута В.Д., Хатенко В.А., ООО «БелЕвроПласт», г. Минск .....	225
Расчет распределения параметров микроклимата в помещениях отапливаемых зданий. Захаревич А.Э., УО БНТУ, г. Минск .....	229
Электроактивация продуктивности дрожжей. Заяц А.Е., УО БГАТУ, г. Минск .....	232
Основы механизма электрообработки фуражного зерна. Кардашов П.В., Лицкевич Е.И., УО БГАТУ, г. Минск .....	235
Технико-экономическая оценка потенциала энергосбережения за счет внедрения светодиодных источников света. Колесник Ю.Н., Евминов Л.И., Иванейчик А.В., Соболев Е.В., ГГТУ им. П.О. Сухого, г. Гомель .....	237
Исследование взаимодействия оксидов $Bi_2O_3$ и $Fe_2O_3$ . Корзун Б.В., ОИФТТП НАН Б, г. Минск, Волчик Т.В., Соболев В.Р., УО БГАТУ, г. Минск .....	240

Изменение физических свойств молочной сыворотки при электрообработке. Кривовязенко Д.И., Дубодел И.Б., УО БГАТУ, г. Минск .....	243
Обеззараживание сточных вод машинных дворов продуктами электрохимической активации. Крутов А.В., Бойко М.А., УО БГАТУ, г. Минск .....	246
Вакуумно-плазменная технология упрочнения инструмента покрытиями на основе твердых растворов нитридов переходных металлов. Кулешов А.К., Соболев В.Р., Козик В.А., УО БГАТУ, г. Минск .....	249
Геометрия и сопротивление системы «электрод-почва» электротехнологического культиватора. Ляпин В.Г., ФГОУ ВПО НГАУ, г. Новосибирск .....	253
Токи электротехнологического культиватора. Ляпин В.Г., ФГОУ ВПО НГАУ, г. Новосибирск .....	256
Влияние термической обработки на сверхпроводящие свойства эвтектичного цирконий-ванадиевого сплава. Малишевский В.Ф., УО БГАТУ, г. Минск, Добрянский В.М., БГПУ им. М.Танка, г. Минск, Чобот Г.М., УО БГАТУ, г. Минск .....	259
Расчет газообразования в слое. Марушко В.А., УО БГАТУ, г. Минск .....	262
Интенсификация процесса делигнификации соломы в электромагнитном поле. Николаенко М.М., Пашинский В.А., УО БГАТУ, г. Минск .....	264
Энергетический баланс электрогидротермической обработки фуражного зерна. Пашинский В.А., Николаенко М.М., УО БГАТУ, г. Минск .....	267
Предпосевная обработка семян в электрическом поле. Пашинский В.А., Злобич В.Л., УО БГАТУ, г. Минск .....	272
Регулирование режимов тепловой обработки термолабильных сред при электродном нагреве. Прищепов М.А., Рутковский И.Г., УО БГАТУ, г. Минск .....	274
Принципы самоорганизации и эксэргетический анализ в обосновании энерго-, ресурсосберегающих агротехнологий. Русан В.И., УО БГАТУ, г. Минск; Королев В.А., Свентицкий И.И., Алхазова Е.О., ГНУ ВИЭСХ, г. Москва, Россия .....	277
Низкотемпературный мост для измерения поверхностного электросопротивления проволочных проводников в магнитном поле. Соболев В.Р., УО БГАТУ, г. Минск, Кириленко А.И., Дрозд А.А., МГВАК, г. Минск .....	280
Температурный механизм дисперсии акустических волн. Соболев В.Р., Логвинович П.Н., УО БГАТУ, г. Минск .....	284
О динамике цилиндрического образца в магнитном поле. Соболев В.Р., БГАТУ, г. Минск, Устинович Д.Ф., ФТИ НАН Б, г. Минск, Быкова С.Л., Малишевский В.Ф., Козик В.А., УО БГАТУ, г. Минск, Кириленко А.И., МГВАК, г. Минск .....	288
Энергосбережение при сушке зерна в агрокомбинате «Снов». Сунцова Ю.А., Коротинский В.А., Гаркуша К.Э., УО БГАТУ, г. Минск .....	291
Энергоэффективная электротехнология для обеззараживания емкостного оборудования предприятий пищевой промышленности. Торган А.Б., УО БГАТУ, г. Минск .....	295

#### Секция 4 «Автоматизация технологических процессов АПК»

Дефицит и бесперебойность подачи воды. Гагаков Ю.В., УО БГАТУ, г. Минск .....	298
Учебно-научный полигон современных систем автоматизации в агроинженерном университете. Гируцкий И.И., ФГОУ ВПО МГАУ им. В.П. Горячкина, г. Москва .....	302
Информационно-управляющая система пароводогрейного котла. Гируцкий И.И., ФГОУ ВПО МГАУ им. В.П. Горячкина, г. Москва, Мочальский Е.Г., ЧУП «Энтас», г. Минск .....	305
Регулирование производительности дробилок и плющилок зерна. Дайнеко В.А., Прищепова Е.М., УО БГАТУ, г. Минск .....	308
Совершенствование системы управления технологическим процессом плющения и дробления зерна. Дайнеко В.А., Сибиркин Д.В., Шаукат И.Н., Прищепова Е.М., УО БГАТУ, г. Минск .....	310
Разработка методики настройки ПИД-регулятора электропривода дробильных агрегатов. Дайнеко В.А., Сибиркин Д.В., Шаукат И.Н., Прищепова Е.М., УО БГАТУ, г. Минск .....	313
Перспективы применения информационных технологий в свиноводстве. Жур А.А., УО БГАТУ, г. Минск .....	316
Автоматизация электромагнитной водоподготовки. Крутов А.В., Галах Д.В., УО БГАТУ, г. Минск .....	319
Эффективность работы отопительно-вентиляционной системы свинар-ника-откормочника при использовании микропроцессорной системы управления. Кучинский А.Ю., УО БГАТУ, г. Минск .....	321
Исследование датчика неполнофазного режима для микропроцессорной защиты. Лавцевич Е.В., УО БГАТУ, г. Минск .....	324
Автоматическая система доувлажнения зерна перед помолом. Лисовский В.В., Басюк Е.И., Булко М.И., Матвеевко В.В., УО БГАТУ, г. Минск .....	327
Моделирование элементов систем управления на ПЭВМ. Матвеевко И.П., УО БГАТУ, г. Минск .....	338
Использование влияния информации на качество управления технологическим процессом. Павловский В.А., УО БГАТУ, г. Минск .....	340
Миниатюрные датчики и устройства на эффекте Холла для автоматизации технологических процессов АПК. Прокошин В.А., БРФФИ, Дралезо А.П., Ярмлович В.А., ОИФТТП НАН Беларуси, г. Минск .....	343
Анализ возможностей использования первичных преобразователей температуры в температурных защитах электродвигателей. Равинский Н.А., УО БГАТУ, г. Минск .....	346
Контроль температуры обмоток асинхронного электродвигателя с помощью термоэлектрических датчиков. Равинский П.А., НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства, г. Минск .....	349
Применение информационных технологий для автоматизации управления технологическими процессами АПК. Савченко О.Ф., Сибирский физико-технический институт аграрных проблем, г. Новосибирск .....	354

Многокритериальное конструирование ПИД-Fuzzy регулятора. Сибиркин Д.В., УО БГАТУ, г. Минск .....	357
Снижение энергоёмкости и интенсификация процессов сушки зерна. Сидоренко Ю.А., Филиченко А.М., Шимко Ю.А., УО БГАТУ, г. Минск .....	361
Проблема повышения эффективности сушки зерна в республике Беларусь путем автоматизации зерносушилок. Сидоренко Ю.А., Филиченко А.М., Шимко Ю.А., УО БГАТУ, г. Минск .....	363
Информационные технологии в создании комплексной системы организации и планирования учебного процесса в ВУЗах АПК. Силкович Ю.Н., Силкович В.В., УО БГАТУ, г. Минск .....	365
К вопросу контроля температуры зерна при его хранении на элеваторах. Шевчик Н.Е., УО БГАТУ, Солдатенко А.А., «НИПТИхлебопродукт», г. Минск .....	368
Автоматизация разработки структуры управления при разработке проекта автоматизации поточной технологической линии. Якубовская Е.С., УО БГАТУ, г. Минск .....	371
Энергетика, экология, инновационное развитие. И.В. Войтов, Государственный комитет по науке и технологиям Республики Беларусь, г. Минск .....	374

Научное издание

**ПЕРСПЕКТИВЫ И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ  
ЭНЕРГЕТИКИ АПК**

**МАТЕРИАЛЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ,  
ПОСВЯЩЕННОЙ 50-ЛЕТИЮ  
АГРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА  
БГАТУ**

**22-23 ноября 2007 г.  
г. Минск**

Ответственный за выпуск *И.В. Протосовицкий*  
Научный редактор *М.А. Прищепов*  
Технический редактор *А.И. Зеленькевич*

Подписано в печать 5.11.07. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>  
Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman. Усл. печ. л. 22,79  
Уч.-изд. л. 17,82. Тираж 100 экз. Заказ 599.

Издатель и полиграфическое исполнение  
Белорусский государственный аграрный технический университет  
ЛИ № 02330/011734 от 10.02.2006. ЛП № 02330/0131656 от 02.02.2006.  
220023, г. Минск, пр. Независимости, 99, к. 2