

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**ПЕРСПЕКТИВЫ
И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ
ЭНЕРГЕТИКИ АПК**

*Материалы Международной
научно-технической конференции*

**29-30 ноября 2006 г.
г. Минск**

Минск
2006

УДК 631.371:620.9

ББК 31

П27

Редакционная коллегия:

М.А. Прищепов, д.т.н., доцент; И.В. Протосовицкий, к.т.н., доцент;
В.И. Русан, д.т.н., профессор; Г.И. Янукович, к.т.н., проф.; К.Э. Гаркуша,
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

Перспективы и направления развития энергетики АПК:

П27 материалы Международной научно-технической конференции (Минск, 29-30 ноября 2006 г.) / М.А. Прищепов [и др.]; под ред. М.А. Прищепова – Мн.: БГАТУ, 2006. – 272 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, 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 авторы*

УДК 631.371:620.9

ББК 31

ISBN 985-6770-23-8

© БГАТУ, 2006

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»**

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, и др.

В работе конференции принимает участие около 90 специалистов, представляющих свыше 15 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.

В условиях Республики Беларусь, самым перспективным путем сделать национальную экономику наиболее энергоэффективной является энергосбережение. Между энергосбережением и энергетической безопасностью существует тесная взаимосвязь: чем меньше потребление энергоресурсов, тем меньше их импорт, а, следовательно, меньше зависимость от внешних поставщиков.

Энергосберегающий путь развития экономики, выбранный руководством Республики, позволил при удвоении внутреннего валового продукта в 2005 году по отношению к 1995 снизить энергоемкость почти на 50%. Как отмечают эксперты, проводимая в Республике Беларусь энергосберегающая политика является одной из самых эффективных на территории стран СНГ. Однако, энергоемкость продукции наших предприятий, все же остается более высокой, чем в индустриально развитых странах.

Одним из направлений развития энергетики в республике является разработка и внедрение социальных стандартов по обеспечению населения электроэнергией и газом, призванных создать равные условия при обеспечении сельского и городского населения энергоресурсами.

При реализации проектов по использованию местных видов топлива выявилась необходимость серьезной научной и инженерной проработки вопросов экологии, использования передовых технологий и их экономического обоснования.

Министром энергетики Республики Беларусь была отмечена необходимость создания для координации деятельности мощного научно-инженерного центра, который сможет обобщить имеющуюся информацию и поставить конкретные

задачи в соответствии с приоритетными направлениями научно-технической деятельности в республике.

Улучшение положения в АПК возможно при создании эффективной энергетической службы на всех уровнях, модернизации и создании производственной базы для промышленного изготовления энергетического оборудования для АПК.

Стратегической целью развития энергетики в АПК является надежное и устойчивое энергообеспечение потребителей при условии снижения энергоемкости производства сельскохозяйственной продукции, следовательно, и ее себестоимости.

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

В структуре УО «БГАТУ» функционирует единственный в республике агроэнергетический факультет, который готовит специалистов по специальности «Энергетическое обеспечение сельского хозяйства». 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).

Университет располагает высококвалифицированными научными кадрами и специалистами, а также современной лабораторной базой. В п. Боровляны имеется энергетический полигон, на котором осуществляется практическая подготовка специалистов, научные исследования и производственные испытания разрабатываемых установок.

В настоящее время рассматривается предложение 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 около 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.

ПРОБЛЕМЫ И ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ АПК В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Русан В.И. (БГАТУ), г. Минск

Развитие АПК на ближайшую перспективу будет осуществляться в соответствии с Государственной программой возрождения и развития села на 2005-2010 годы и другими программами.

Данной госпрограммой предусматривается обеспечение в жилых и общественных зданиях создаваемых агрогородков всех социальных стандартов и современных условий для жизнеобеспечения населения: электроосвещения, отопления и горячего водоснабжения, водопровода и канализации. Оборудование, предназначенное для этих систем жизнеобеспечения, должно отвечать нормативным стандартам.

Важнейшей приоритетной составляющей развития АПК, обеспечивающего продовольственную безопасность страны, является его надежное и экономичное энергообеспечение.

Энергетика является фундаментом реформирования и выхода из кризиса экономики АПК, одного из крупнейших потребителей энергоресурсов. Однако энергетика АПК в настоящее время находится в кризисном состоянии. Это проявляется в виде дефицита ТЭР и роста их стоимости, прекращения энергоснабжения потребителей из-за неплатежеспособности и острого дефицита инвестиций.

В хозяйствах эксплуатируется свыше 70% энергооборудования с послеамортизационными сроками службы, состояние энергетического оборудования остается неудовлетворительным, его парк практически не обновляется, ухудшилось качество поставляемой электрической энергии, отмечается значительное количество аварийных внеплановых отключений сельскохозяйственных потребителей. Более 50% потребителей второй категории по надежности электроснабжения не имеет его 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 отмечается самый высокий электротравматизм по сравнению с другими отраслями народного хозяйства республики.

За последние годы резко снизились укомплектованность энергослужб и уровень эксплуатации электроустановок потребителей сельскохозяйственной отрасли, уровень подготовки электротехнического персонала не отвечает требованиям ПТЭ и ПТБ.

Результатом изложенного выше являются следующие негативные последствия: низкие электровооруженность труда (около 4 тыс. кВт ч на одного среднесписочного работника) и надежность энергообеспечения потребителей, высокий удельный вес (до 60%) энергоресурсов в стоимости продукции и ее высокая энергоемкость (в 3-5 раз выше экономически развитых стран). В результате чего сельскохозяйственная продукция становится неконкурентно-способной на мировом рынке.

Для повышения надежности, экономичности и качества энергообеспечения сельскохозяйственных потребителей необходим комплекс мероприятий и средств по техническому и технологическому переоснащению энергетических предприятий и служб АПК.

Энергетическое обеспечение АПК должно соответствовать целенаправленному удовлетворению потребностей человека в виде необходимой и достаточной по объему и ассортименту безопасной для здоровья продукции, поддержания параметров экологической среды и создания комфортных условий его жизни на высоком уровне.

Для повышения надежности и качества энергообеспечения потребителей АПК необходим комплекс различных организационных и технических мероприятий по следующим направлениям:

- электроснабжение сельскохозяйственных потребителей;
- электрооборудование и электротехнологии в сельском хозяйстве;
- теплоснабжение потребителей;
- технический сервис и ремонт энергетических средств;
- энергообеспечение жилищно-бытового и общественного сектора;
- научное и кадровое обеспечение развития аграрной энергетики.

В докладе излагается состояние и механизм реализации данных направлений повышения эффективности энергообеспечения АПК.

В решении изложенных проблем особая роль принадлежит научно-техническому и кадровому обеспечению развития энергетики АПК.

Перспективными и приоритетными направлениями фундаментальных и прикладных исследований в этой области является выполнение работ по

проблеме эффективного использования топливно-энергетических ресурсов, создания энергоэффективных технологий и техники, способов преобразования и использования энергии, энергосбережения и снижения энергоемкости производимой продукции.

С этой целью необходимо расширить и углубить исследования, сосредоточив их на следующих направлениях:

- разработка систем, способов и средств повышения надежности, устойчивости и эффективности энергоснабжения сельскохозяйственных потребителей;
- разработка и практическое применение, с учетом региональных особенностей, методологии энергетической оценки новых технологий, способов и технических средств для определения и обоснования их энергетической эффективности, выявления и реализации потенциала экономии ТЭР;
- обоснование и разработка новых энергоэффективных технологий, электротехнологий и технических средств для сельхозпроизводства на базе электрификации, электромеханизации, тепло- и газификации, автоматизации;
- в рамках Госпрограммы развития и возрождения села необходимо разработать системы и средства повышения устойчивости и надежности энергообеспечения агрогородков, животноводческих ферм и фермерских хозяйств, включая широкое использование средств малой энергетики и систем автономного энергообеспечения с широким использованием местных энергоресурсов и возобновляемых источников;
- разработка способов и средств эффективного использования местных видов топлива, биомассы, растительных, древесных и других отходов, торфа с их переработкой в жидкое топливо и газ, альтернативных видов топлива в энергобалансе предприятий и хозяйств с целью снижения потребления традиционных энергоресурсов, уменьшения зависимости от централизованного энергоснабжения и снижения затрат на энергоресурсы;
- разработка, создание и использование средств малой энергетики и систем децентрализованного энергообеспечения;
- широкое использование возобновляемых энергоресурсов, разработка систем и средств энергообеспечения на их базе;
- разработка новых технологий, методов и средств, повышающих эффективность использования и контроля расхода жидкого топлива, газа и смазочных материалов в мобильной и стационарной энергетике растениеводства;

- расширение исследований по разработке энерго- ресурсосберегающих технологий производства и переработки продукции непосредственно в хозяйствах;
- разработка средств мониторинга, регулирования и учета расхода ТЭР, включая многотарифный учет с применением ЭВМ, микропроцессорной техники и информационных технологий;
- разработка региональных программ энергообеспечения и энергосбережения с учетом местных условий и их энергетического потенциала, а также мероприятий по энергосбережению, вплоть до конкретных объектов их реализации;
- расширить работы по созданию нормативной базы расхода энергоресурсов, как средства контроля эффективности их потребления, разработать мероприятия и рекомендации по широкому использованию двух и многотарифного учета электроэнергии
- возобновить совместно с Минисельхозом РБ разработку и согласование совместной с Российской Федерацией подпрограммы «Дальнейшее развитие, совершенствование и повышение эффективности энергетической системы АПК и энергосбережение» для передачи ее на утверждение в установленном порядке.

Наиболее перспективным представляется комплексное решение проблем энергообеспечения на основе создания энергоэффективных зон и демонстрационных объектов высокой энергетической эффективности.

Мировой опыт показывает, что наиболее эффективно стоящие проблемы необходимо решать в комплексе на основе интеграции образования, науки, производства.

С этой целью целесообразно создать в структуре БГАТУ учебно-научно-практический центр энергетики АПК (УНПЦ энергетики АПК).

Основные функции и задачи УНПЦ энергетики АПК должны быть следующие:

1. Организация и проведение учебной и организационно-методической работы по проблемам энергообеспечения АПК.
2. Организация и проведение научных исследований, внедрение их результатов в производство и подготовка научных кадров.
3. Переподготовка специалистов-энергетиков и повышение их квалификации.

4. Создание энергетического полигона современного энергосберегающего оборудования и энергосберегающих технологий, в том числе по использованию ВИЭ.

Решение изложенных проблем является необходимым условием реализации Госпрограммы возрождения и развития села и позволит обеспечить энергетическую безопасность АПК.

ПОДГОТОВКА СПЕЦИАЛИСТОВ ПО ВОПРОСАМ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В АПК КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Гаркуша К.Э., Коротинский В.А. (БГАТУ), г. Минск

В условиях Республики Беларусь, не имеющей достаточного запаса собственных топливно-энергетических ресурсов (ТЭР), когда мы расходует в 2...3 раза больше энергетических ресурсов на единицу национального продукта, чем западные страны, энергосбережение – это самый перспективный путь и реальная возможность сделать национальную экономику наиболее эффективной.

Собственными энергетическими ресурсами РБ обеспечена приблизительно на 15%, остальное импортируется: газ, нефть, уголь, электроэнергия. Эффективность использования ТЭР в промышленности и быту РБ на 30 – 40% ниже мировых, в сельском хозяйстве – на 75 – 80% ниже среднемировых.

Между энергосбережением и энергетической безопасностью существует самая тесная взаимосвязь: чем меньше мы потребляем энергоресурсов, тем меньше их импортируем, а следовательно, меньше наша зависимость от внешних поставщиков.

Насколько верен выбранный энергосберегающий путь развития экономики, свидетельствуют результаты работы последнего десятилетия. Так при темпах роста внутреннего валового продукта (ВВП) в 2005 году 193% по отношению к 1995 году валовое потребление ТЭР стабилизировалось на уровне 35 млн. т у.т., а энергоемкость ВВП снизилась на 47,4% [1].

Однако, если сравнивать энергоемкость продукции наших предприятий, то она значительно выше, чем в индустриально развитых странах. На каждый доллар США произведенной в РБ продукции расходуется около 1,4 кг у.т. (или 0,46 кг н.э.), тогда как в странах ЕС – 0,81 кг у.т. (или около 0,22 кг н.э.). Правда, следует учитывать, что климат в нашей стране более холодный, что обуславливает и больший расход ТЭР на обогрев производственных,

административных зданий и жилищно-бытового сектора. Отечественная промышленность по удельным расходам ТЭР пока весьма далека от европейских стандартов. Не лучше положение и в АПК. Так, на 1 т говядины тратится 550 кВт-ч электроэнергии, на 1 т свинины – в 2,5 раза больше. Совокупный расход ТЭР в производстве 1 т зерна составляет 28...30 кг у.т., в том числе сушка – 12...15 кг у.т. [2].

АПК является крупным потребителем ТЭР, расход которых в настоящее время составляет около 8% общереспубликанского потребления. Энергосбережение рассматривается как одно из главных направлений дальнейшего развития и эффективного функционирования АПК и как самый дешевый источник энергии.

Развитие энергетики АПК: на первом этапе должно базироваться в основном на существующих технологиях и технических средствах на основе разработки организационно-экономических и нормативно - правовых мероприятий по энергосбережению; на втором этапе агропромышленное производство должно последовательно переводиться на интенсивный путь развития с использованием высокоэффективных энергосберегающих технологий нового поколения. На каждом из этих этапов существенное значение имеют как организационно-экономические, так и технические и технологические механизмы реализации энергосберегающей политики, а также выполняемые исследования и разработки по обеспечению энергосбережения в АПК.

Для существенного улучшения положения дел в ресурсосбережении следует повышать профессиональные знания специалистов, вести подготовку профессионалов; обеспечивать дисциплину, технологическую сдержанность, терпимость к природным богатствам; улучшать качество той продукции, которую мы сегодня выпускаем; признавать "человеческие ресурсы" на уровне с основным капиталом; отказаться от представлений о рабочей силе как дарового богатства.

В связи с этим, можно считать, что одним из основных механизмов реализации энергосберегающей политики в развитии АПК и, как следствие, повышение его энергетической безопасности является обеспечение агроэнергетического комплекса высококвалифицированными специалистами соответствующего профиля. При этом наиважнейшее значение имеет развитие системы непрерывного агроэнергетического образования, осуществление комплексного информационного обеспечения, пропаганды и внедрения

передового опыта в области энергоресурсосберегающих технологий и установок для сельскохозяйственного производства.

Для решения этой непростой задачи на базе кафедры энергетики создана учебная информационно-образовательная лаборатория по энергосбережению в АПК, которая используется для обучения студентов, инженерных кадров, технологов и переподготовки специалистов по линии повышения квалификации. Учебно-методическая база обеспечена новейшими достижениями в области энергоиспользования в макетных образцах и действующих установках. Кроме того, завязалось тесное сотрудничество со многими предприятиями, чья продукция используется при энергоснабжении АПК. Получила развитие договорная форма приобретения дорогостоящего оборудования в качестве выставочных образцов для демонстрации и изучения в учебном процессе. Так кафедра энергетики сотрудничает в этом вопросе с МВП «Альтернатива», пропагандируя его энергосберегающее вентиляционное оборудование, применяемое в животноводческих помещениях, а также установки для сушки продуктов. Обобщенный передовой опыт демонстрируется с помощью видеотехники. В этом, в первую очередь, оказывает помощь Минское областное управление по надзору за рациональным использованием ТЭР.

Преподаватели кафедры энергетики, стремясь передать студентам в отпущенные сжатые сроки возрастающий по объему и сложности материал, вносят изменения в организацию учебного процесса и методику преподавания. Закрепление теоретических знаний осуществляется путем проведения экскурсий на передовые объекты и предприятия. Так, организуются экскурсии в районную котельную, тепловые пункты нашего университета, где детально рассматриваются все элементы систем теплоснабжения и снимаются показания приборов, по которым рассчитываются и оформляются лабораторные работы. Постоянным является посещение НИИ «Белгазтехника» и технического класса учебно-курсового комбината концерна «Белтопгаз», при этом студентам предоставляется полная информация, в том числе в виде рекламных брошюр, по всем видам выпускаемой для газопотребляющей отрасли РБ продукции, а также демонстрируются уникальные оптические установки по проверке бытовых газовых счетчиков и работа одной из первых в РБ автоматизированных газовых котельных. Также осуществляется проведение практических занятий на объектах БГАТУ с целью ознакомления с методикой энергетических

обследований и разработки реальных мероприятий по рациональному использованию ТЭР.

Кроме того, с целью углубленной проработки наиболее сложных разделов дисциплин на кафедре созданы специальные учебно-ознакомительные стенды, которые подкреплены методическими указаниями к лабораторным, практическим занятиям и курсовым проектам. По основным дисциплинам разработаны программы расчетов на ПЭВМ, которые используются в курсовом и дипломном проектировании. Практикуется выдача студентам заданий на дипломное проектирование с реальной основой для их последующего внедрения.

Осуществляя основную задачу по обеспечению энергетической безопасности АПК, кафедра энергетики продолжает вести переподготовку энергетиков и инженеров хозяйств в рамках повышения их квалификации при ИПК и ПК БГАУ и развивает оказание консалтинговых услуг специалистам сельского хозяйства и частным лицам в области энергетики.

С 2005 года кафедра приступила к подготовке специалистов по новой специальности 74 06 05 «Энергетическое обеспечение сельского хозяйства (теплоэнергетика)».

Литература

1. Черноусов С.В. Энергетика Беларуси смотрит в будущее / С.В.Черноусов // Энергоэффективность, - 2006, - № 2, - С.12-15.
2. Русан В.И. Рациональное подключение для аграрной энергетики / В.И. Русан // Республика. – 2001, - 1 ноября.

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ БИОПРОДУКЦИОННЫМИ СИСТЕМАМИ

Герасимович Л.С. (ИСЗ им. А.М. Широкова), г. Минск

Эффективность агропромышленного производства определяется особенностями функционирования самих биопродукционных бизнес-систем: крупных товарных комплексов и предприятий (животноводческие, птицеводческие комплексы, тепличные комбинаты, многоотраслевые сельхозпредприятия, биотехнологические производства, хранилища сельскохозяйственной продукции и др.).

Биоуправляемая бизнес-система – это целостный комплекс взаимосвязанных компонентов, включающий биологический объект труда как

основную биопродукционную подсистему в технологии, организации производства и реализации конечного продукта на рынке.

Биопродукционные подсистемы обладают следующими системными свойствами: целостностью, сложностью, функциональностью, динамичностью, открытостью, самоорганизованностью, ограниченной определимостью и управляемостью. Они подчиняются следующим биологическим законам: соотношения факторов и критических периодов.

Агропромышленные бизнес-системы обладают определенной степенью общности для различных биопродукционных процессов. Они являются сложными многообъектными, иерархичными и нестационарными системами, так как включают в себя открытые биологические объекты как главные подсистемы управления и различные технико-технологические, экономические и управляющие подсистемы.

Методология исследования и создания биуправляемых продукционных бизнес-систем основана на современных инновационных информационно-аналитических управляемых технологиях, базирующихся на системном и ситуационном анализе; методах исследования операций, структурно-функциональном моделировании и стоимостном анализе в экономике, позволяющих повысить организованность, качество и эффективность систем организационного управления (СОУ).

Достижение главной цели СОУ – это получение планируемой совокупной годовой прибыли при ограниченных ресурсах. Такие задачи решаются методами динамического программирования с использованием ситуационных методов принятия решений (на основе маркетинговых исследований и алгоритмов искусственного интеллекта) с использованием компьютерных информационных технологий.

Многообъектная система управления ставит в качестве одной из основных задач проблему согласования взаимодействий между отдельными объектами и подсистемами, необходимость ситуационного управления при существенно меняющихся условиях внешней среды (сезонность, погоднo-климатические условия, вид и качество исходного сырья, конъюнктура рынка и др.), что требует координации, оперативного управления и принятия решений.

Принятие решений по формированию и обоснованию системы целей низших уровней рассматривается как многовариантная многокритериальная задача целеполагания с оптимальной многоцелевой альтернативой.

Создание таких систем требует четырех иерархических уровней управления на основе разделения информационного и управляющего контуров, так называемой даймонт-структуры АСУП. Самый нижний уровень – подсистема автоматического регулирования (САР), на котором обеспечивается решение задач локального автоматического регулирования: стабилизации или программного изменения параметров объекта в соответствии с установками, задаваемыми на вышеразмещенном уровне системы автоматизированного управления (САУ). Уровень САУ предназначен для оптимизации технологических режимов управления производственным процессом.

Более высокий иерархический уровень координации (УК) – диспетчерского управления, который осуществляет координацию (согласование) работы локальных оптимизаторов для достижения критериев эффективности системы – необходимого течения производственного процесса с использованием алгоритмов искусственного интеллекта.

Высший уровень ситуационного оперативного управления и принятия решений (ОУПР) управляется ЛПП (лицом, принимающим решение, или группой специалистов предприятия – топ-менеджеров), который обеспечен центральным компьютерным центром. На этом уровне общие цели и задачи, стоящие перед бизнес-системой, преобразуются в конкретные решения (установки САР и САУ) согласованного управления с учетом распределения информационных ресурсов управления между отдельными подсистемами и принятия оперативных решений при различных возмущающих воздействиях на бизнес-систему.

На разных этапах моделирования системы можно использовать современные средства моделирования с использованием широко известных пакетов программного обеспечения ЭВМ типа BPWin, ERWin, CuAM, MatLab, Simulink и, в конечном итоге, АСУ управления ресурсами бизнес-системы (ERP).

Такая идеология построения универсальных перенастраиваемых адаптивных АСУП биопроизводственными бизнес-системами, принятая на базе отечественной микропроцессорной техники с использованием современных интеллектуальных биодатчиков и этологических (поведенческих) реакций живых организмов в системе распознавания образов, – перспективное научное направление развития автоматизированных интеллектуальных информационно-управляющих систем, что позволит в полной мере использовать накопленный

научно-технический и интеллектуальный потенциал страны (НИИ, вузов, софтовых фирм и современных промышленных объединений типа «Интеграл», приборостроительных заводов и др.) для обеспечения энерго- и ресурсосберегающих агротехнологий в АПК нашей республики.

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ, РАСПРЕДЕЛЕНИИ И ПОТРЕБЛЕНИИ ТЕПЛОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Маньшин Г.Г., Агаев Н.Н. (МАИТ), г. Минск

В средних широтах и выше 70% расходуемого энергетического сырья приходится на производство тепловой энергии и только 30% на производство электрической энергии.

Жизненный цикл в области средних широт характеризуется неустойчивыми погодными условиями даже в летний (наиболее благоприятный) период. Годовой перепад температур, достигающий барьера $\Delta 50^{\circ}\text{C}$ и выше, является критическим для расширенного воспроизводства. Эффективность энергосистем в таких условиях при данном уровне существующих технологий объективно находится в области предельной устойчивости и не может быть увеличена без зарождения, развития и внедрения новых технологий, выходящих за границы современных знаний.

Перспективные разработки:

1. В первую очередь это относится к **геотермальной энергии**.

Влияние солнечной энергии ниже 10 метров практически не распространяется. Глубина наших интересов достигает, по крайней мере, 3-3,5 км. Параметры этого слоя по Евразийскому континенту однородны и по температуре $\sim 120^{\circ}\text{C}$, и по теплопроводности $\lambda = 2,6$ (Вт/м град).

Республика Беларусь имеет достаточно мощные запасы геотермальной энергии по юго-западу. Например, в Припятской тепловой линзе на глубинах 2500-2800 метров зафиксирована температура $180-190^{\circ}\text{C}$, что в 1,5 раза выше среднего показателя.

Изобретенная нашими учеными труба Фильда, использующая теплоноситель воздух по замкнутому циклу, позволяет без энергетической накачки доставлять на поверхность тепловую энергию с мощностью потока от 2000 кВт, преобразовывая ее при необходимости и в электрическую энергию.

Несколько лет данное изобретение представлялось на стендах Республиканской научно-технической библиотеки г. Минска и считалось

лучшим изобретением Республики Беларусь. Для АПК Республики Беларусь геотермальная энергия – не противоречивый динамический путь развития.

2. Нагревательная и холодильная установка. Нагрев теплоносителя или охлаждение материальных тел происходит за счет отрицательной радиации, сущность которой изумительно моделируют утренние осенне-зимние заморозки. Предельные теоретические температуры нагрева или охлаждения $\sim 2800^{\circ}\text{C}$ и минус 180°C соответственно. Обе установки реализуют закон Стефана-Больцмана. Функциональное объединение установок позволит создать совершенно новый способ по производству электрической энергии.

3. Газотурбинная расщепленная установка, в которой турбина, камера сгорания и компрессор разнесены пространственно. Компрессор представляется вытяжной трубой переменного сечения, превращающий тепловую энергию Броуновского движения молекул газа в охлажденный вектор тяги.

Через турбину поступает воздух с температурой окружающей среды, что исключает проблему ограничения по температуре, нагревается в камере сгорания (в обычном топочном устройстве) и далее через вытяжную трубу. Турбина является приводом генератора.

4. Интенсификация окислительных процессов. Сущность разработки в пространственном разделении окислительных и восстановительных реакций. Это позволяет увеличить количество тепловой энергии в области горения и снизить температуру газов в зоне выброса. Цикл подобен циклом синтеза и «дыхания» растений в темное время суток, которые природа успешно реализует.

5. Электролиз воды. Водородная энергетика. АЭС. Перспективность этого направления очевидна и принимается уже бездоказательно. Интенсификация, повышение КПД электролиза ультрафиолетовым, рентгеновским и радиоактивным излучением приведут к революции в энергетике.

Наиболее мощными катализаторами электролиза, без сомнения, являются радиоактивные элементы и их изотопы. В этом контексте атомная энергетика из угрожающего фактора огромных мощностей расчленяется в безопасные ячейки электролизеров. Поэтому главным направлением исследований в этой области является создание радиационного зеркала, что оказалось возможным за счет усиления эффекта комптоновского рассеяния γ -излучения.

Применение радиоактивных элементов в замкнутых, защищенных электролитических установках позволяет от понятия КПД установки перейти к оценке ее производительности.

Весьма перспективной является релятивистская тяжелоядерная энергетика, позволяющая создавать абсолютно надежные и радиационно-безотходные АЭС. Чрезвычайно важны также ядерные блоки малой и средней мощности на шаровых микротрелях, применение которых позволит решить проблему развития ядерной энергетике в РФ.

6. Производство, распределение и потребление электрической энергии.

Основным недостатком паротурбинного и газотурбинного циклов является отсутствие обратной связи между потреблением активной электрической энергии и количеством расходуемого энергетического сырья. Частота изменения активной составляющей тока нагрузки очень высокая, тепловые режимы паровой и газовой турбин – стабильно инерционны.

Такой способ производства электрической энергии не реагирует на энергосберегающие программы. Самое главное в том, что генерирующие электрическую энергию системы не реагируют на изменения режимов работы электроприемников и, значит, не способны экономить энергетическое сырье. Вывод очевиден: корни энергосберегающих программ – в производстве электроэнергии, а не в потреблении.

Наиболее перспективным направлением по устранению этого «энергетического изъяна» является *водородная энергетика*, которая позволит осуществлять электролиз на *освобождающихся мгновенных мощностях*. Наибольшую эффективность можно получить там, где используется газ. При КПД электролиза 80-90% возможна суточная экономия газа до 18-20%.

В технологической цепочке производства, передачи, распределения и потребления электрической энергии используется **закон электромагнитной индукции**, разделяющий полную электрическую энергию на активную и реактивную.

Генераторы, трансформаторы, линии электропередач, электроприемники объединены в единую электрическую систему, параметры которой практически не контролируются. Включения электроприемника (например, лампочки) мощностью 100 Вт потребует от генератора 1000 В А. Причиной такого парадокса является реактивная энергия, которая лавинообразно увеличивается в линиях электропередач и в трансформаторных устройствах.

Современная концепция регулирования потоков реактивной энергии во всей электрической системе, решая эту тяжелейшую техническую задачу, организуется в форме генерации реактивной энергии и ее компенсации при избытке.

Так как основным видом реактивной энергии при потреблении является индуктивная, то генераторы переводятся в режим «емкостной» за счет перевозбуждения и практически превращают индуктивный характер нагрузки в активный, реально загружая вал турбин механическим моментом. По самым скромным подсчетам механический момент на валу турбин можно уменьшить в 2-3 раза.

Другим скрытым фактором низкой энергоэффективности являются перетоки электрической энергии в общих точках присоединения – между генераторами и трансформаторами. Инструментально эти процессы не только не измеряются, но и не контролируются, особенно в единых макро системах. Токи перетоков электрической энергии могут достигать величин токов короткого замыкания.

Причина всех перечисленных явлений общепризнанна – это реактивная энергия. Которая перегружает генераторы, сети, ухудшает динамический КПД электроприемников, разрушает коммутационную аппаратуру, изоляцию, порождает веерные отключения, на порядок снижая энергоэффективность электросистем.

Ключом к решению энергетических проблем является *индивидуальная компенсация реактивной составляющей индуктивного характера электрической энергии или «Концепция нулевой реактивной энергии».*

7. Параметрический регулятор нагрузки на базе сборного конденсатора с токоограничивающей функцией (КТФ).

КТФ обеспечивает:

- текущий $\cos \varphi \sim 1$ при переменных нагрузках электроприемников и трансформаторов;
- «обнуление» реактивной энергии во всей электрической системе;
- шунтирование токов электромагнитной индукции при отключении электроприемников;
- повышение динамического КПД электроприемников и трансформаторов;
- значительное уменьшение сетевых потерь в распределительных сетях предприятий и в магистральных линиях электропередач;

- устранение расфазировки напряжений у параллельно включенных трансформаторов;
- снижение токов нагрузки на генераторах.

Эффект от внедрения данной разработки тем значительнее, чем меньше электроприемников, функционирующих без КТФ.

Интеллектуальный банк наших разработок и концепций содержит около 50 пионерных изобретений и «ноу-хау», потенциал «размножения» которых с трудом представляется даже их авторам. Республика Беларусь уникальна в историческом, политическом, социальном, экономическом, географическом и интеллектуальном аспектах. Республика сфокусировала в себе современные философские концепции развития цивилизации, основной из которых является энергия, что позволяет оптимистически оценивать будущее нашего народа.

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Зяц Е.М., Николаенок М.М., Пашинский В.А., (БГАТУ), г. Минск

Электротехнология – область науки и техники, изучающая физические закономерности, способы и средства преобразования электрической энергии в другие виды энергии с целью изменения свойств, состояния, поведения предметов труда живой и неживой природы.

Технологические процессы, связанные с преобразованием электрической энергии в тепловую и ее использованием, объединяют термином «электроотермия», а процессы, в которых электрическую энергию применяют непосредственно или с предварительным преобразованием в механическую или химическую – понятием «электрофизические и электрохимические методы обработки материалов».

Электрофизические и электрохимические методы, основаны на использовании различных действий электрической энергии, часто говорят электрического поля или тока, важнейшими из которых являются механическое, тепловое, химическое, биологическое.

Механическое действие лежит в основе следующих технологических направлений использования электроэнергии: разделение неоднородных смесей в электрическом и магнитном полях; фильтрация газов; осаждение частиц на поверхность; обработка материалов на основе электрогидравлического эффекта:

преобразование электроэнергии в энергию ультразвуковых колебаний и их использование; магнитно-импульсная обработка материалов.

Тепловое действие электрического тока (помимо электротермии) используют при электроимпульсной обработке материалов; активизации и подавлении развития микроорганизмов; активизации химических процессов обработки материалов. Следует различать тепловое воздействие электрического тока с целью изменения энтальпии вещества – это электронагрев и с целью стимуляции подавления химических, микробиологических или иных процессов – это электротепловая обработки.

Химическое действие электрического тока лежит в основе развития следующих технологических направлений: электрохимическая обработка воды с целью ее очистки, активации, получения полезных растворов; электрохимическое изменение свойств органических дисперсных гидросистем, например, обработка кормовых материалов, извлечение белков, из побочных продуктов производства; электролитическая регуляция биологической активности микрофлоры в различных микробиологических процессах; электрохимическая обработка металлов; изменение ионного состава воздуха.

Биологическое действие проявляется через физические и химические процессы в живых организмах животного и растительного мира, изменяющиеся под действием электрического и магнитного полей и влияющие на развитие и состояние живого организма. Это наименее изученная область использования электромагнитной энергии (исключая тепловое действие). Установлено что, основными действующими факторами является длина волны и плотность излучения. Наиболее действенно электромагнитное излучение в диапазоне длин волн $10^{-6} \dots 10^{-9}$ м, т.е. измеряемое в нанометрах. Отсюда пошло название «нанотехнология», в основе которой лежат действия электромагнитного поля оптического диапазона длин волн. Это новое, быстро развивающееся во всем мире направление использования электроэнергии в технологических процессах.

В реальных технологиях электроэнергия оказывает комплексное влияние на предмет труда. Однако значимость действующих факторов различна, в одном процессе каким-то из них можно пренебречь, а в другом «пренебрегаемый» становится главным. Из этого вытекает множественность методов и средств достижения целей электрообработки, описания физических и количественных закономерностей процессов.

Цель этих тезисов – обратить внимание ученых на необъятность и перспективность технологического направления использования электроэнергии, его быстрое развитие во всем мире, необходимость учета этого при подготовке специалистов.

СТРАТЕГИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ КРУПНЫХ ГОРОДОВ

Бол.басов В.С., Жидович И.С., Матюнин В.И., Трутаев В.И.

(МАИТ), г. Минск

Устойчивое развитие Республики Беларусь во многом определяется состоянием и перспективой развития ее региональных центров, поэтому при определении перспектив энергетики АПК важно эффективно использовать накопленный потенциал разработок по развитию энергетики крупных городов¹.

Крупные города занимают более 20,0% в суммарном потреблении энергоресурсов городскими поселениями республики.

Основные особенности их энергоснабжения состоят в следующем:

- значительная (более 70%) поставка электроэнергии от энергосистемы по питающим линиям 220-330 кВ;
- высокая (более 80%) доля природного газа в топливно- энергетическом балансе, с подачей газа по отводам от магистрального газопровода, идущего из северных районов Российской Федерации в Западную Европу;
- сравнительно высокая централизация теплоснабжения от теплоисточников, подведомственные Министерству энергетики Республики Беларусь (ТЭЦ и крупные районные котельные);
- наличие большого числа промышленных и мелких отопительных котельных, работающих, как правило, с недогрузкой и, как следствие, с неблагоприятными технико-экономическими показателями;
- концентрация использования вторичных энергетических ресурсов (ВЭР) на крупных промышленных предприятиях и высокая составляющая ВЭР в структуре использования местных энергетических ресурсов.

Анализ показывает, что в инженерной инфраструктуре крупных городов мало используется их собственный энергосберегающий потенциал, включая коммунальные ВЭР и природные тепловые ресурсы, а также другие

¹ города с числом жителей население от 250 тыс. до 1000 тыс. жителей)

энергосберегающие мероприятия локального и системного характера. При наличии жилых и общественных зданий с повышенными теплопотерями такое положение обуславливает низкий коэффициент полезного использования первичного энергоресурса, даже в том случае, если этим энергоресурсом является наиболее качественное из всех видов топлива – природный газ. В настоящее время этот коэффициент не превышает 50%, что показывает наличие значительных резервов экономии энергоресурсов. Повысить его значение можно путем сокращения потерь энергии во всех звеньях энергетического процесса при генерировании, транспорте и потреблении энергоресурсов.

По прогнозу объемов поступления и распределения топливно-энергетических ресурсов в крупных городах в ближайшие 15 лет при росте численности населения в 1,1 раза спрос на энергетические ресурсы увеличится в 1,3 раза. Причем, в структуре внешних поставок энергетических ресурсов объемы природного газа, который уже сегодня является доминирующим ресурсом (более 80%), возрастут в 1,2 раза. В условиях дефицита собственных энергетических ресурсов такой рост энергопотребления требует опережающего выполнения работ по повышению эффективности энергоснабжения и энергоиспользования.

Практика внедрения энергосберегающих решений в городах показывает, что наибольший эффект достигается тогда, когда они предусматриваются уже на стадиях разработки Генеральных планов городов и проектов детального планирования территории.

Основные направления повышения эффективности систем энергоснабжения и энергоиспользования в крупных городах, которые сформулированы на основании опыта градостроительного проектирования, приведены ниже.

***Направление 1** – развитие теплофикации путем превращения ряда котельных в малые и средние ТЭЦ с установкой на них газотурбинных и паротурбинных агрегатов.*

Данное направление полностью соответствует принятым в республике Государственным программам. Как показывают расчеты, перевод 1 Гкал котельной мощности в теплофикационный режим обеспечивает годовую экономию топлива в случае применения паротурбинных агрегатов равную 35 т у.т., в случае применения газотурбинных агрегатов – более 84 т у.т.

Рассредоточение теплофикации по действующим котельным позволит сократить капиталовложения в новую теплогенерирующую мощность, в строительство электрических сетей и существенным образом повысить надежность электроснабжения потребителей от рассредоточения энергоисточников такого типа по территории города

Однако переоборудование котельных в малые ТЭЦ не снимает вопроса необходимости строительства новых ТЭЦ. И только целевые системные работы должны обосновать проектную мощность, вид топлива и структуру ТЭЦ, а также схему их включений в энергосистему города.

Одновременно при возможных ограничениях на поставку природного газа, являющегося основным видом топлива на котельных и ТЭЦ города, становится актуальным и углубление теплофикации с размещением на теплоисточниках тепловых насосов, утилизирующих теплоту ВЭР. При этом применение электроприводных тепловых насосов только увеличивает потребность города в электрической энергии, вырабатываемой системными электрическими станциями, особенно при строительстве АЭС.

Размещение тепловых насосов на городских энергоисточниках будет способствовать сведению топливного баланса города при ограничениях на поставку природного газа и позволит сохранить экологическую нагрузку в условиях возможного роста потребления твердых видов топлива на индивидуальных теплоисточниках. Причем вопрос включения тепловых насосов в структуру новых ТЭЦ должен быть рассмотрен на начальной стадии их проектирования.

Направление II – утилизация горючих и тепловых вторичных энергетических ресурсов (ВЭР) промышленных предприятий.

В настоящее время при техническом перевооружении промышленных предприятий технологические процессы уже не сопровождаются большим выходом концентрированных потоков ВЭР. Однако многие имеют выход локальных потоков неизбежных тепловых потерь с оборотной водой, сточными водами, вентиляционными выбросами и др. По грубой оценке интенсивное вовлечение в оборот для теплоснабжения этих потоков ВЭР позволит предприятиям на 5-10% повысить коэффициент полезного использования энергоресурсов. Развитие этого эффективного по всем позициям направления актуализируется при изменении тарифной политики государства.

***Направление III** – широкое применение теплонасосных установок (ТНУ) для утилизации коммунальных ВЭР и природных потоков низкопотенциальной теплоты.*

Следует признать, что преимущества ТНУ пока еще осознаны не всеми хозяйственными субъектами. Они состоят в том, что используя электроэнергию для электропривода или топливо для дизельного либо газотурбинного привода тепловых насосов, ТНУ позволяют вовлекать в систему теплоснабжения бросовое или природное тепло, которое другими путями использовано быть не может. На каждый 1 МВтч энергии, затраченной на работу ТНУ, утилизируется 2,2-2,6 Гкал бросового или природного тепла. В случае электропривода тепловых насосов это соответствует КПД теплогенерирующей установки равном 95-112%.

В инженерной инфраструктуре городов ТНУ прежде всего следует применять для утилизации низкопотенциальной теплоты водопроводной воды на насосных станциях II-го подъема и очищенных сточных вод на городских очистных сооружениях.

Перспективно и использование располагаемых ресурсов низкопотенциальной теплоты грунтовой и речной воды. Расчеты показывают, что теплоснабжение практически всех новых объектов, планируемых к размещению в водоохранных зонах городов, целесообразно от ТНУ как экологически чистого теплоисточника.

***Направление IV** – использование энергетического потенциала городских сточных вод.*

В крупных городах расчетный объем сточных вод, проходящих биологическую очистку на городских очистных сооружениях, составит около 1000 тыс.м³/сутки, а их располагаемый энергетический потенциал (химическая энергия осадка и тепловая – жидкой фазы) – около 400 тыс.т у.т.

Если использовать энергетический потенциал сточных вод для выработки тепловой и электрической энергии с применением тепловых насосов и газогенераторов, то размещение таких энергокомплексов в крупных городах даже при пессимистической оценке позволит уменьшить объем внешних поставок топлива на 80 тыс. т у.т./ год.

Особенно важно учитывать возможность и эффективность использование энергетического потенциала городских сточных вод при планируемой реконструкции городских очистных сооружений.

Направление V – сжигание твердых бытовых отходов (ТБО).

Мировая практика отработала систему избавления от ТБО – примерно 40% их перерабатывается с частичным захоронением и 60% - сжигается в специализированных мусоросжигающих установках. В случае сжигания ТБО приобретают энергетическую ценность и могут рассматриваться как составляющая приходной части топливно-энергетического баланса города.

В среднем ТБО имеют калорийный коэффициент не более 0,26 (1800 ккал/кг). При удельном выходе ТБО на одного городского жителя около 300 кг/чел.год энергетический потенциал ТБО может составить 3,5% от общего расхода котельно-печного топлива на энергоснабжение городов.

Направление VI – использование механической энергии природного газа на газораспределительных станциях (ГРС).

В настоящее время давление природного газа на ГРС систем газоснабжения крупных городов дросселируется с 5,5 МПа до 1,2 МПа. Полезно использовать этот перепад давлений можно установкой на ГРС турбодетандеров с одновременной выработкой электрической энергии и получением промышленного холода. Расчеты показывают, что при электрической мощности турбодетандера 1,9 МВт расчетная холодопроизводительность установки составит около 1 Гкал/ч.

Направление VII – использование возобновляемых природных и нетрадиционных источников энергии для энергоснабжения коттеджной застройки.

В условиях городов спрос на нетрадиционные энергоисточники (солнечные водонагреватели, ветродвигатели, тепловые насосы) существенно возрастает с развитием индивидуальной коттеджной застройки. В крупных городах из общего объема жилья, вводимого в период 2006-2015 г.г., коттеджная застройка может составить около 40%. Если допустить, что нетрадиционные источники покроют только 5% тепловой потребности этой застройки, то годовая экономия топлива от их применения составит не менее 15 тыс. т у.т.

Направление VIII – тепловая реабилитация многоэтажных зданий, построенных 30-40 лет назад.

Как известно, тепловые потери зданий, построенных 30-40 лет назад, превышают современные нормативы на 20-30%, что является одной из важнейших причин перерасхода топлива в жилищно-коммунальном секторе.

По грубой оценке, в крупных городах около половины таких зданий, а обусловленный сверхнормативными тепловыми потерями перерасход топлива составляет около 40 тыс. т у.т. в год.

Внедрение перечисленных направлений энергосбережения, включая и традиционные мероприятия повышения энергоэффективности на стадиях генерирования, транспорта и потребления энергоресурсов, позволят получить ежегодную экономию до 35% годовой потребности городов в топливно-энергетических ресурсах. Коэффициент полезного использования энергоресурсов (КПИ) возрастет при этом с 45..50% (существующий уровень) до 60%.

Следует отметить, что приведенные значения КПИ рассчитаны без учета эффекта роста уровня использования энергоресурсов, обусловленного вовлечением в оборот ранее бросовой энергии ТБО, сточных вод, механической энергии сжатого природного газа и др. Полезное использование энергии этих потоков приведет к сокращению расхода первичных энергоресурсов и, как следствие, к дальнейшему росту КПИ. Достигаемые значения будут определяться экономическими условиями.

Устойчивое энергоснабжение городов в условиях эволюции топливно-энергетического баланса на перспективу непосредственным образом определяется количеством независимых поставщиков энергоресурсов и видов потребляемого топлива, а также стабильностью цен на топливные ресурсы. Для отдельно взятого города устойчивость энергоснабжения не может быть обеспечена без устойчивого энергоснабжения государства в целом, но она может оказываться значительно ниже устойчивости, которое имеет государство, если внешние топливно-энергетические и электроэнергетические связи города ограничены, а его топливно-энергетический баланс близок к моноструктуре.

Устойчивость современного энергоснабжения крупных городов относится именно к этому случаю. Около 70 % электроэнергии города получают извне от энергосистемы. Доминирующим видом топлива является природный газ, получаемый от единственного поставщика – российского Газпрома.

Чтобы повысить устойчивость электроснабжения необходимо:

- создавать в городах собственные электрогенерирующие установки, прежде всего теплофикационного типа в расчете на то, чтобы они по возможности могли участвовать в регулировании графика электрической нагрузки;
- усилить независимые связи внешнего электроснабжения городов;

- обеспечить широкое применение теплонасосных установок, позволяющих вовлекать в систему городского теплоснабжения виды топлива, потребляемые в энергосистеме на крупных электростанциях.

Сложнее обстоит дело с **устойчивостью топливоснабжения**. Сейчас более 80% в топливно-энергетическом балансе городов занимает природный газ. Общеизвестно, что ресурсы природного газа не безграничны и вполне вероятно, что в обозримом будущем наступит момент вынужденного сокращения потребления природного газа и происходить это будет под воздействием роста его цены. Предполагается, что уже в ближайшей перспективе цена одной тысячи кубометров природного газа в Беларуси будет возрастать. Если в 2005 году средняя цена 1 тыс. м³ природного газа в республике составляла около 60 долл., в ближайшие годы она может вырасти в 2 и более раза.

В этих условиях вполне правомочна постановка вопроса о его замещении уже в ближайшем будущем альтернативными видами топлива, в частности, углем. Момент экономической целесообразности такого замещения наступит, как только цена природного газа превысит величину, определяемую суммой цены альтернативного вида топлива и удельных дополнительных затрат у потребителя, связанных со сжиганием этого топлива.

Географическое положение Республики Беларусь таково, что в качестве альтернативы потребляемому природному газу могут выступать польские угли Силезского и Люблинского угольных бассейнов, российские угли Печерского угольного бассейна. Весь вопрос будет заключаться в цене угля и стоимости транспорта.

Расчеты показывают, что устройства по сжиганию каменного угля у потребителей обходятся дороже аналогичных устройств по сжиганию природного газа. В большой энергетике это удорожание, отнесенное к одной тонне сжигаемого условного топлива, составляет примерно 14 долларов, в промышленной энергетике – около 20 долларов и в коммунальной энергетике – 25 долларов и больше. Зная темпы роста цены природного газа можно определить начало временного этапа, когда замена природного газа углем у разных потребителей станет экономически целесообразной.

Устойчивость топливоснабжения городов также будет возрастать с увеличением расхода в его периферийных районах местных видов топлива – торфяных брикетов и отходов деревообработки.

В этом случае структура приходной части ТЭБ в каждом городе будет меняться по собственному индивидуальному сценарию. Но в то же время можно обозначить и некоторые общие закономерности замещения природного газа твердыми видами топлива и, прежде всего, углем. Приведенные системные расчеты позволили дать экономическую оценку такого замещения для различных топливоиспользующих агрегатов. Так, на первом месте по замещению стоят теплоэлектроцентрали, далее крупные котельные, средние и мелкие котельные и лишь в конце этой очередности многочисленные бытовые потребители. Такая последовательность согласуется и с экологическими требованиями.

Анализ значений индикаторов энергетической безопасности города, применяемых Институтом Экономики НАН для оценки ситуации в экономике, дает основание оценить состояние энергетики крупных городов в настоящее время (при отсутствии ограничений на поставку природного газа) как нормальное, а при изменении условий экспорта энергетических ресурсов – как предкризисное. Все города сохранят и в перспективе зависимость от поставок энергоресурсов из-за пределов республики. Критична доля доминирующего топливного ресурса, которым является природный газ, единственным поставщиком которого является российский Газпром.

**КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ
ЭНЕРГОУСТАНОВОК С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
ЭФФЕКТИВНОСТИ И СНИЖЕНИЯ ВРЕДНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА
ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ**

Салова Т.Ю., Гущинский А.Г., (СПбГАУ), г. Санкт-Петербург, РФ.

Для создания высокоэкономичных и экологически чистых энергоустановок необходимо проведение комплексных теоретических и экспериментальных исследований составляющих ее элементов: образования вредных веществ во взаимосвязи с организацией рабочего процесса сгорания, регулировочными параметрами и условиями реальной эксплуатации двигателя.

Из большого разнообразия методов снижения токсичности отработавших газов (ОГ), в том числе, выбросов оксидов азота, с точки зрения экономической целесообразности наибольший интерес представляют метод снижения максимальных температур в зоне горения, организации процесса догорания топлива, нейтрализации ОГ.

Анализируя экологические характеристики энергоустановки, созданной на базе двигателя ГАЗ 544.10, полученные на различных эксплуатационных режимах работы (рисунки 1, 2), можно отметить соответствие между ростом температуры цикла, температуры ОГ и увеличением концентрации оксидов азота. Максимальные значения концентрации оксидов азота возникают при значении температуры ОГ в пределах 300..600°C, что соответствует максимальной загрузке дизеля при этом с ростом температуры от 200 °С до 550 °С концентрация оксидов азота в ОГ возрастает от 100 до 1200 ррт, а концентрация кислорода в ОГ уменьшается от 16 % до 10 %.

Для снижения токсичности выброса энергоустановки были разработаны способ и устройство нейтрализации ОГ (рисунок 3). Нейтрализатор отработавших газов энергетических установок содержит разъемный цилиндрический корпус 1, имеющий входной 2 и выходной 3 патрубки.

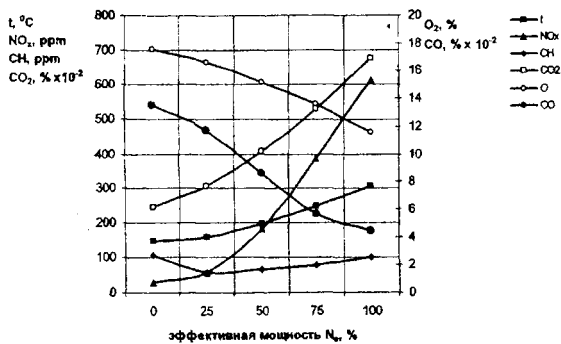


Рисунок 1 – Зависимость экологических показателей дизеля ГАЗ 544.10 от нагрузки для скоростного режима $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$

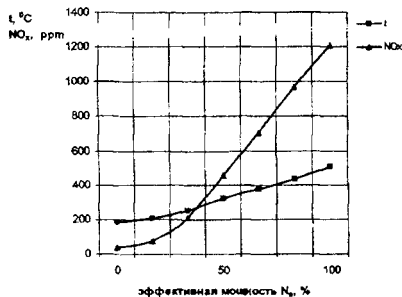


Рисунок 2 -- Зависимость температуры ОГ и концентрации оксидов азота от нагрузки для скоростного режима $n = 2300 \text{ мин}^{-1}$

Внутри, соосно корпусу 1 с помощью продольных ребер жесткости 4, установлена цилиндрическая смесительная камера 5, выполненная в виде трубы 6, которая образует с корпусом 1 кольцевой канал 7 и с соплом 8 входного патрубка 2 кольцевое отверстие 9. К входному патрубку 2 жестко закреплено конусообразное суживающееся сопло 8, внутри которого соосно с ним установлена трубка 10 подачи газа-восстановителя. Выходное сечение суживающегося конусообразного сопла 8, находится в одной вертикальной плоскости соосно с входным сечением цилиндрической смесительной камеры 5. Нейтрализатор ОГ энергетических установок устанавливается в выхлопную трубу транспортного средства вблизи от выпускного коллектора и соединяется с дополнительной емкостью для хранения газа - восстановителя.

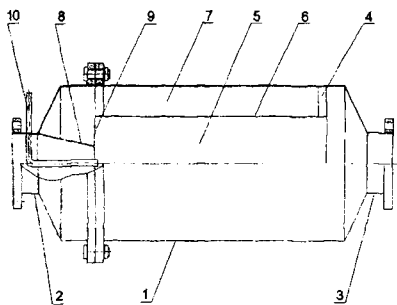


Рисунок 3 – Конструкция нейтрализатора

1 - корпус; 2 - входной патрубок; 3 - выходной патрубок; 4 - ребра жесткости; 5 - смесительная камера; 6 - корпус смесительной камеры; 7 - цилиндрический кольцевой канал; 8 - суживающееся сопло; 9 - кольцевое сечение; 10 - трубка подачи газа-восстановителя

Расход ОГ и их скорость определяются режимами работы двигателя, значимость которых оценивается концентрацией оксидов азота в ОГ.

Необходимая скорость потока определяется из условия обеспечения максимальной разности давлений $\Delta P = P_2 - P_3$ на входе и выходе нейтрализатора, которая достигается увеличением скорости ОГ на входе в нейтрализатор V_1 , и уменьшением коэффициента эжекции n , то есть уменьшением рециркуляции газа (рисунок 4).

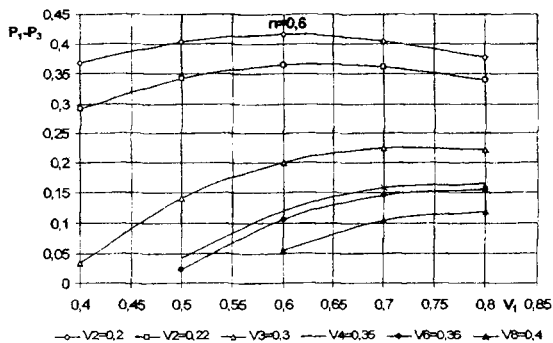


Рисунок 4 – Изменение разности давлений ΔP в зависимости от скорости потока ОГ на скоростном режиме двигателя $n = 1680 \text{ мин}^{-1}$, $P_{01} = 1,085 \text{ ат}$.

Моделированием газодинамических режимов работы нейтрализатора в области заданных значений расхода ОГ и давления на входе в нейтрализатор, было установлено, что значение коэффициента эжекции $n = 0,6$ наиболее полно удовлетворяет всей области изменения скорости ОГ V_1 , значение которой определяется изменением расхода ОГ.

Установлено также, что значению скорости рециркулируемого потока $V_2 = 0,2$ соответствует наибольшая разность давлений ΔP в области изменения скорости ОГ V_1 .

Согласно полученным значениям скорости потоков были определены основные проектные размеры конструкции. Экспериментальные исследования разработанной конструкции нейтрализатора показали высокую степень эффективности восстановления оксидов азота в ОГ, при этом значения концентрации оксидов азота в ОГ соответствуют нормам Евро -4.

ВЫБОР СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ НА СЕЛЕ

Шестерень В.Е. (БГАТУ), г. Минск

Проблема определения энергоэффективной и социально важной системы теплоснабжения сельских поселений имеет большое значение для практической реализации Программы возрождения села. Существует определенная гамма технических решений по покрытию тепловых нагрузок на селе с использованием различных энергетических ресурсов: газа, жидкого или твердого топлива. Здесь так же широко используются местные энергоресурсы (дрова, торфобрикеты). Население проявляет интерес и в ряде случаев

использует так же электроэнергию для приготовления горячей воды и отопления. С целью выявления перспектив использования отмеченных решений проведено энергетическое сопоставление основных вариантов теплоснабжения с различными энергоносителями.

Вначале определились коэффициенты полезного действия каждого элемента энергетической цепочки, а затем универсальный показатель - коэффициент полезного использования топлива для каждой энергетической схемы. Результаты сопоставлений приведены в таблице. Полученные материалы позволяют сделать следующие выводы. Наиболее эффективен в системах теплоснабжения вариант с использованием природного газа. Хорошие показатели будут у систем теплоснабжения на жидком топливе, а самые неблагоприятные – с использованием каменного угля. По экспертной оценке низкая энергетическая эффективность схем при использовании местных видов топлива.

Что касается электрифицированных вариантов, то особого внимания заслуживает вариант использования внепиковой (ночной) электроэнергии. Здесь необходимо отметить объективные предпосылки, которые будут благоприятствовать возможному расширению использования внепиковой электроэнергии в целях теплоснабжения. В числе энерготехнических предпосылок можем отметить, что в энергосистеме постоянно снижается удельный расход топлива на вырабатываемую электроэнергию. Кроме того, обостряется проблема с неравномерностью суточного графика электрических нагрузок.

В связи с чем, в качестве одного из возможных эффективных вариантов для улучшения режимов электропотребления может рассматриваться включение во внепиковое время дополнительных потребителей электроэнергии. На расширение этого направления нацеливает введенные в Белорусской энергосистеме многоставочные тарифы на электроэнергию.

Уместно отметить, что существующие электрические сети во внепиковые часы недогружены и могут дополнительно обеспечить электроэнергией потенциальных потребителей без их реконструкции.

Практическая реализация рассмотренных вариантов теплоснабжения существенно зависит от размеров поселений. В крупных поселках (агломерациях) будет использоваться природный газ. В то же время природного газа не будет в более мелких поселениях, но в обязательном порядке каждый

жилой дом будет иметь систему электрообеспечения. Резервы этой системы в ряде случаев целесообразно использовать для решения проблем теплоснабжения.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОПЛИВА						
Показатели	КПД по элементам схемы с энергоносителем на					
	Электроэнергии			Природн ом газе	Жидко м топли ве	Каменн ом угле
	В часы максиму ма В часы максиму ма	По свободном у графику	Вынужденн ый режим (внепико вый)			
Выработка электроэнергии на электростанциях	0,3	0,4	0,44	-	-	-
Элементы схемы энергоснабжения:						
-склад топлива при железной дороге	-	-	-	-	-	0,99
-транспорт (распределение в сельском районе)	0,9	0,9	0,95	0,92	0,97	0,95
-хранение	-	-	-	-	0,93	0,95
теплогенерирующие установки	0,98-1,0	0,98-1,0	0,98-1,0	0,6-0,75	0,6- 0,75	0,4-0,6
-потери регулирования	-	-	-	0,85- 0,9	0,85- 0,9	0,85- 0,9
Суммарный коэффициент полезного использования топлива(КПИ)	0,26-0,27	0,35-0,36	0,41-0,42	0,47- 0,62	0,46- 0,61	0,3- 0,48

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВТОРИЧНЫХ, НЕТРАДИЦИОННЫХ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ТЕПЛО – И ХОЛОДОСНАБЖЕНИЯ МИНИ-ЦЕХОВ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ СЕЛЬХОЗПРОДУКЦИИ

Яценко А.П., (Первомайский политехнический институт НУК), г. Первомайск,
Украина

Одним из важных социальных заданий государства является обеспечение рынка потребителей достаточным количеством доброкачественных пищевых продуктов.

Высокие цены продовольствия - результат роста себестоимости сельскохозяйственного сырья и его переработки за счет энергетической составляющей.

В стационарных процессах производства, переработки и хранения сельскохозяйственной продукции широко используются низко-, средне-высокотемпературные тепловые процессы: охлаждение, сушка, варка, пастеризации и другие. Такие процессы требуют значительных расходов топлива, тепловой и электрической энергии. Необходимо полное использование теплового потенциала первичных энергоносителей, увеличение уровня утилизации вторичных энергоносителей, максимально возможное включение энергобаланс производств возобновляемых и нетрадиционных источников энергии, таких как солнечная энергия, тепло грунта, грунтовой и на, грунтовой воды, тепло окружающего воздуха и тепло энергетически предприятий (используется всего до 20%).

Внутренние источники - тепло вентиляционных выбросов технологических стоков, технологических процессов (тепло недорекуперации и др.) практически не используется (за исключением тепла парного молока, но и в этом случае не более 1 %). Научно-технические решения по полному использованию тепла парного молока и получению для потребностей молочно товарных ферм теплой (45-50 °С) и горячей (80-85°С) воды найдены и реализованы при разработке блоков тепло - и холодообеспечения серии ЭТБ-14 ЭТБ-20 и БТХ-50, БТХ-400 с использованием тепловых насосов ТХУ-16, (хладон 22) и двойного назначения ТХУ-6-4-0 (хладон 142) при работе в докритических режимах[2], но для использования тепла вентиляционных выбросов есть лишь схемные решения, разработки отдельных элементов и рекомендаций. Данные по энергозатратам и вторичному теплу на отдельных мини производствах приведены в таблице (переработка: 1 - молока, 2- свиней, 3 - водоплавающей птицы, 4 - подсолнуха).

	Производительность	Количество расходуемого тепла, МДж			Количество вторичного тепла, МДж			Соотношение в %
		Всего	в том числе		Всего	в том числе		
			пар	горячая вода		вент-выбросы	стоки	
1	5 тонн в сутки	1190	637	553	802	138	604	67,4
	10 тонн в сутки	2795	1274	1521	1721	276	1445	61,6
2	1 тонна в сутки	876	-	766	817	70	747	85,2
	2000 голов/сутки	3096	1504	1592	1957	282	1775	63
3	5000 голов/сутки	6436	3155	3281	3725	585	3140	57
	10 тонн в сутки	15044	14520	524	13481	10226	3255	89,6
4	1,3 тонны в сутки	1956	1888	68	1753	1330	423	89,6
	10 дал/сутки пива	1821	920	901	1880*	967	913	103,2*

*с учетом тепла брожения.

Температурный потенциал таких ВЭР находится в пределах 15-80°C и может быть эффективно использован для предварительного подогрева технологической воды до температур не менее 45-50°C с дальнейшим догревом до 75°C с помощью тепловых насосов с коэффициентом преобразования 4-6 ед.

Выполненные исследования [1] показали возможность сокращения энергоёмкости переработки молока на 32-38%. В связи с циклическим пиковым потреблением ресурсов, системы необходимо оборудовать аккумуляторами тепла и холода. Анализ технологий производства других видов продукции показывает, что таким образом можно снизить энергоёмкость переработки продукции растениеводства стерилизацией на 48-50 %, при консервировании замораживанием - до 40 %, а при консервировании сушкой до 70%. На мини-предприятиях по переработке мяса можно уменьшить энергоёмкость производства на 15...18 % благодаря использованию тепла конденсации холодильного оборудования, при этом температурный потенциал вторичного тепла находится в границах от 15°C - 45°C. При переработке птицы экономия составляет до 70 %, при переработке подсолнуха - до 55 %, при производстве хлеба - до 25 %, этилового спирта - до 72 %, а при производстве пива - до 40 % от расходов первичной энергии.

Объединяя преимущество теплонасосных систем для повышения температурного потенциала вторичного и возобновляемого тепла, утилизации вторичных энергоресурсов возможно реально снизить энергоёмкость процессов производства, переработки и хранения продукции, а с использованием тригенерационных установок[3] – решить проблему самоэнергообеспечения таких предприятий и довести уровень энергоёмкости к величинам, характерным для промышленно развитых стран.

Литература

1. Яценко А.П., Ротар І.А., Кулик Н.О. Використання температурного потенціалу вторинних енергоресурсів для теплозабезпечення переробки сільгосппродукції на підприємствах АПК. Матеріали XII міжнародної науково-практичної конференції “Інформаційні технології: наука, техніка, освіта, здоров’я” МОН, НТУ “Харківський політехнічний інститут”, Вид. “Курсор”, м.Харків: с.190.

2. Яценко А.П., Навоеві Н.І. Експериментальні дослідження теплового насоса ТХУ6-4-0 при до критичних режимах роботи. Матеріали XII міжнародної науково-практичної конференції “Інформаційні технології: наука, техніка, освіта, здоров’я” МОН, НТУ “Харківський політехнічний інститут”, Вид. “Курсор”, м.Харків: с.227.

3. Литвин С.М., Яценко А.П. Самоенергозабезпечення підприємств АПК за рахунок тандемів газовий двигун – тепловий насос. Матеріали XII міжнародної науково-практичної конференції “Інформаційні технології: наука, техніка, освіта, здоров’я” МОН, НТУ “Харківський політехнічний інститут”, Вид. “Курсор”, м. Харків: с.192.

КОНТРОЛЬ ДОСТОВЕРНОСТИ УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Анищенко В.А., Козловская В.Б., Радкевич В.Н. (БНТУ) Минск

Одним из компонентов, обеспечивающих национальную и экономическую безопасность Республики Беларусь, являются Закон об энергосбережении и Концепция энергетической безопасности. Реализация этих основополагающих документов требует соответствующего информационного обеспечения. Необходима полная и достоверная информация об электроэнергии, генерируемой электрическими станциями и потребляемой промышленными, сельскохозяйственными, бытовыми и другими объектами. Этой цели служат «Концепция приборного учета электроэнергии в Республике Беларусь» и утвержденные Министерством энергетики положение «Об отраслевом рекомендуемом перечне средств коммерческого учета электрической энергии» и основанный на нем «Технический кодекс приборного учета электроэнергии в Республике Беларусь». Последний представляет собой один из этапов реализации принятого Постановлением Совета Министров №847 от 02.08.2005г. «О мерах по внедрению в республике автоматизированной системы контроля и учета электрической энергии».

Предполагается, что точный учет электроэнергии будет достигнут за счет совершенствования информационно-измерительных каналов, включая наряду с электросчетчиками также измерительные трансформаторы тока и напряжения, устройства сбора и передачи данных, компьютеры с соответствующим программным обеспечением. Возникает вопрос о гарантиях достоверности отдельных измерений и учета электроэнергии в целом.

Достоверность учета электроэнергии определяется в первую очередь надежностью технических средств, с помощью которых производятся измерения, передача и обработка собираемых данных. Вместе с тем целесообразна организация семантического контроля достоверности, основанного на анализе смыслового значения контролируемых потоков электроэнергии, их технологической непротиворечивости.

Необходимым условием семантического контроля является наличие информационной избыточности. Ее источником могут служить уравнения взаимных связей между измеряемыми потоками электроэнергии, вытекающие из топологии схемы электрических соединений.

Семантический контроль достоверности состоит из следующих этапов:

- формируются уравнения взаимных связей вида

$$\sum_{i=1}^n a_{ij} W_i = \delta_j^{\text{пот}}; \quad j = 1, \dots, m; \quad (1)$$

где W – неизвестные истинные значения потоков активной энергии;

a_{ij} – коэффициенты, принимающие значения (1, -1, 0) в зависимости от присутствия потоков энергии в тех или иных уравнениях и направления этих потоков;

$\delta_j^{\text{пот}}$ – небалансы уравнений связи, обусловленные активными потерями энергии в зависимости от близости расположения счетчиков и результатов измерения энергии;

n – число контролируемых счетчиков;

m – сумма независимых и зависимых уравнений связи;

- определяются допустимые небалансы уравнений связи

$$\delta_j^{\text{доп}} = \delta_j^{\text{пот}} + \delta_j^{\text{изм}}, \quad j = 1, \dots, m; \quad (2)$$

где небаланс $\delta_j^{\text{изм}}$ задается в зависимости от точности установленной измерительной аппаратуры и результатов измерений энергии;

- определяются фактические небалансы уравнений связи подстановкой в уравнения (1) результатов измерений энергии \overline{W}_i (при $\delta_j^{\text{пот}} = 0$)

$$\sum_{i=1}^n a_{ij} \overline{W}_i = \delta_j^{\text{факт}}; \quad j = 1, \dots, m; \quad (3)$$

- определяется наличие недостоверных результатов измерений согласно условию

$$|\delta_j^{\text{факт}}| > \delta_j^{\text{доп}}; \quad (4)$$

- производится локализация недостоверных измерений на основе анализа присутствия переменных в уравнениях связи с учетом выполнения условия (4); в первую очередь подозреваются в недостоверности изменения, входящие во все уравнения, для которых условие (4) выполнено, и не входящие в уравнения, для которых это условие не выполнено;

- определяются достоверные замещающие значения потоков электроэнергии $W_{ij}^{\text{зам}}$, обеспечивающие соблюдение условия (4) для всех уравнений.

В случае, если контроль показал отсутствие недостоверных результатов измерений, имеющаяся информационная избыточность в виде уравнений взаимных связей позволяет решать задачу статистического оценивания, т.е. вводить корректирующие поправки ΔW_i и получать оптимальные оценки потоков электроэнергии

$$\hat{W}_i = \overline{W}_i \pm \Delta W_i, \quad (5)$$

Семантические контроль достоверности показаний электросчетчиков проводимый в темпе технологического процесса, позволит своевременно выявлять неисправности информационно-измерительных каналов и повышать точность решения задачи учета электроэнергии.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ АНТИРЕЗОНАНСНОГО ТООГРАНИЧИВАЮЩЕГО ДРОССЕЛЯ КОНДЕНСАТОРНОЙ УСТАНОВКИ 0,38 кВ

Богдан А.В., Перекопский К.В. (КубГАУ), Краснодар, РФ

Суммарные потери на транспорт электроэнергии во многом обуславливаются перетоком реактивной мощности, необходимой для работы электроустановок потребителей. Их снижения можно достичь за счет увеличения степени компенсации реактивной мощности (КРМ). Предложенная конструкция КУ обеспечивает требуемую надежность в сочетании с минимумом себестоимости [1]. Данное техническое устройство предусматривает наличие однофазных антирезонансных токоограничивающих дросселей (АТД).

Методы расчета и конструирование антирезонансных дросселей существенно отличаются от тех, которые используются при проектировании дросселей изложенные в литературе (используемые в радиотехнике и релейной защите). Главные отличия заключаются в следующем: различие номинальных параметров, задаваемые при проектировании, габариты антирезонансных дросселей принципиально отличаются от дросселей используемых в радиотехнике и релейной защите, поэтому основным технико-экономическим

параметром при их проектировании является минимум приведенных затрат при изготовлении и эксплуатации дросселя.

Руководствуясь выше изложенным, необходимо разработать методику расчета АД предназначенных для применения в КУ, провести сравнительный анализ и оптимизационный расчет различных видов конструкций дросселей.

Объем дросселя является нелинейной функцией количества витков и величины воздушного зазора магнитопровода. Причем если величина зазора ограничена узкими пределами определяющимися величиной номинального тока, требованиями минимального рассеивания, заданной линейности в области рабочих токов, то количество витков можно изменять в более широком диапазоне, ограничиваясь высокой стоимостью обмоточного материала. Задача оптимизации состоит в нахождении экономически оправданного соотношения материалов обмотки и магнитопровода.

Для учета магнитных свойств стали в расчете аппроксимируем кривую намагничивания функцией Фройлиха.

Путем преобразований аппроксимирующего выражения получим уравнения связи параметров дросселя:

$$B^2 - \frac{\mu_0 * l + \delta * \alpha + I_{nom} * W * \mu_0 * \beta}{\delta * \beta} * B + \frac{I_{nom} * W * \mu_0 * \alpha}{\delta * \beta} = 0 \quad (1)$$

$$\mu = \alpha - \beta * B \quad (2)$$

где B -магнитная индукция,

I_{nom} -номинальный ток,

W -количество витков,

δ -воздушный зазор магнитопровода,

α, β -коэффициенты аппроксимации,

μ_0 -магнитная постоянная,

μ -магнитная проницаемость стали магнитопровода,

l -длина средней магнитной линии,

Решая данные уравнения и подставляя полученные результаты в выражение можно определить индуктивное сопротивление дросселя:

$$X_d = \frac{\omega * b * \kappa * W^2}{\frac{l}{\mu} + \frac{\delta}{\mu_0}} \quad (3)$$

где ω -угловая скорость,

b -базисный размер магнитопровода,

k -коэффициент учитывающий соотношение геометрических размеров поперечного сечения магнитопровода.

Для заданного χd , варьируя величиной базисного размера и воздушного зазора дросселя, решаем уравнения (1-3) методом итераций. Далее получив основные геометрические размеры легко находится требуемый объем материалов дросселя.

Анализируя полученные зависимости, исходя из заданного условия минимума технико-экономического параметра (суммарных потерь) можно однозначно заключить, что применение тороидальной конструкции для АД в КУ является более целесообразным чем броневой. Разработанная методика позволяет определять оптимальные геометрические размеры АД с различными коэффициентами частотной расстройки.

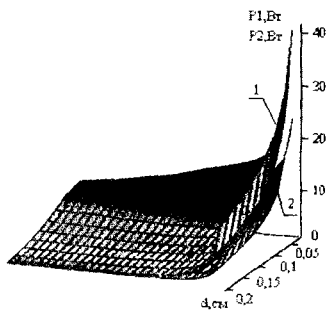


Рисунок 1 – Потери в стали магнитопровода в зависимости от количества витков и величины воздушного зазора магнитопровода для броневой ΔP_1 (1) и тороидальной ΔP_2 (2) конструкции дросселя.

Литература

1. К.В. Перекопский Установка для компенсации реактивной мощности / А.В. Богдан, В.В. Тропин, К.В. Перекопский // Электроэнергетические комплексы и системы: материалы Междунар. науч.-практ. конф./ КГТУ. – Краснодар, 2006.-С.176-179

АНАЛИЗ ПОВРЕЖДЕНИЙ В ОБМОТКАХ АСИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА С ЕМКОСТНЫМ САМОВОЗБУЖДЕНИЕМ

Богдан А. В., Соболев А. Н. (КубГАУ), Краснодар, РФ

В течение последних лет теоретические исследования и практический опыт показывают перспективы применения самовозбуждающихся асинхронных

генераторов в качестве источника питания в системах автономного электроснабжения средней мощности.

Витковое замыкание в обмотке статора асинхронного генератора (АГ) при малом числе замкнувшихся витков нарушает режим работы, вызывает значительные токи в короткозамкнутых витках и не вызывает развозбуждения генератора. Для создания защиты АГ от данного повреждения был проведен анализ токов при витковых замыканиях и междуфазных к.з. в обмотке статора АГ. Искусственные замыкания между различными витками в фазных обмотках автономного асинхронного генератора создавались с помощью специальных предварительно выведенных наружу из лобовой части обмотки статора выводов. Генератор выполнен на базе асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором типа 4А100S4У3 (3 кВт, 1435 об/мин). Количество витков в фазе равно 210. Емкость самовозбуждения равна 12 мкФ. Генератор приводился во вращение двигателем постоянного тока. Напряжение на генераторе поддерживалось равным 220В. Токи в короткозамкнутой цепи и в выводах АГ, питающих нагрузку зависят от количества замкнувшихся витков обмотки. На рисунке 1 показаны кривые изменения токов генератора $I_{aг}$, $I_{bг}$, $I_{сг}$ в амперах (А) для фаз А, В, С соответственно, а также ток короткого замыкания $I_{кз}$ в фазе А при активной нагрузке генератора равной 600Вт в зависимости от числа замкнувшихся витков по отношению к числу витков в фазе (W). Из полученных данных видно, что ток в короткозамкнутой части обмотки увеличивается в 5-10 раз по сравнению с номинальным, но явной несимметрии фазных токов нагрузки не наблюдается. Генератор теряет возбуждение только при 15–30 % замкнутых витков, следовательно замыкание малого числа витков может приводить к термическому повреждению обмотки, пожару и т.д.

Основным принципом обнаружения витковых замыканий в обмотке статора АГ является измерение появляющейся несимметрии токов статора. Так как она при витковых замыканиях невелика, то для построения защиты необходимо применять высокочувствительные схемы для обнаружения несимметрии трехфазной системы токов и напряжений.

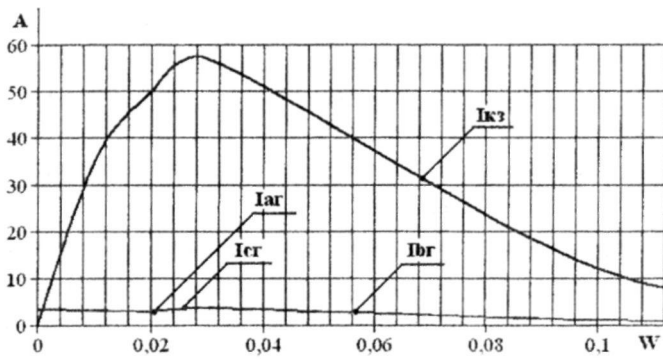


Рисунок 1 – Изменение токов АГ в зависимости от относительного числа замкнутых витков

Проведено также исследование повреждений в короткозамкнутом роторе. Явными признаками неисправности обмотки ротора асинхронного генератора (обрыва стержня беличьей клетки) являются пульсация токов фаз статора, колебание частоты вращения, увеличение шума, вибрация и т. д. Ротор при этом перегревается, вызывая общий повышенный нагрев АГ.

Для нахождения оборванного стержня можно воспользоваться аппаратом для обнаружения повреждений обмотки электродвигателей ЕЛ – 15. Переставляя датчик прибора со стержня на стержень по поверхности короткозамкнутого ротора на экране можно наблюдать:

–при отсутствии обрыва стержня в пазах ротора наблюдается кривая с равномерной амплитудой.

–при наличии обрыва амплитуда кривой снижается в зависимости от тяжести повреждения.

При проверке стержни ротора ААГ, выполненного на базе электродвигателя типа 4А100S4У3 (3 кВт, 1435 об/мин) были пронумерованы от 1 до 34. На рисунке 2 слева на право показаны кривые изменения амплитуды при проверке стержней 11, 13, 32 и 33. Из рисунка видно, что неисправными являются стержни 32 и 33.



Рисунок 2 – Изменение амплитуды кривой при проверке ротора

Как показали опыты, при обрыве 1 – 2 стержней обнаружение данной неисправности по пульсации режимных параметров в условиях работы затруднено из-за слабого изменения значений этих параметров и погрешности, вносимой изменениями в режиме работы и техническим состоянием механизмов машины. Следовательно, требуются более чувствительные диагностические параметры, характерное изменение которых могло указать на наличие данной неисправности.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ УРБАНИЗИРОВАННЫХ РАЙОНОВ

Большасов В.С., Жидович И.С., Матюнин В.И.

Энергетика является ключевой отраслью хозяйства, от состояния которой зависит не только экономика, но и социальный климат, политическая стабильность в государстве и безопасность – условия, при которых исключено воздействие на человека опасных и вредных факторов.

В Республике Беларусь на производство единицы продукции требуется больше энергетических ресурсов, чем в других развитых странах мира, поэтому решения задач, обеспечивающих их эффективное использование, являются актуальными во всех сферах. Обостряется проблема тем, что расходуемые сегодня энергетические ресурсы (нефть, газ) не безграничны и по мере сокращения запасов их стоимость будет расти, что приведет (и уже приводит) к необходимости перехода на альтернативные виды топлива и источники энергии.

Стабильность жизнедеятельности урбанизированных районов, формирующихся на базе крупных, больших и активно развивающихся средних городов, включая также малые городские поселения и агрогородки, в большой степени зависит от состояния энергоснабжения региональных центров.

Их энергетическая безопасность в системе расселения может быть обеспечена повышением автономии энергоснабжения, как отдельных объектов, комплексов, населенных мест, так и целых районов. При этом проблема теплоснабжения является наиболее важной. В этом плане важную роль в энергообеспечении промышленных и хозяйственных, административных и социально-общественных объектов начинают играть малые нетрадиционные тепловые энергоустановки. В сельской местности они найдут применение и для автономного энергоснабжения больниц и родильных домов, животноводческих и птицеводческих ферм, а также жилой застройки. Внедрение нетрадиционных энергоустановок с низкой стоимостью выработки электрической энергии позволит преобразовывать ее в тепловую непосредственно на объектах теплотребления и, таким образом, сократить затраты на строительство теплотрасс и эксплуатационно-ремонтные работы.

Как известно, вся материальная продукция и результаты хозяйственной деятельности общества в конечном счете переходят в разряд промышленных и бытовых отходов. Ежегодно в Беларуси накапливаются около 2,5 млн. т твердых отходов, которые направляются на свалки, и лишь небольшая часть перерабатывается на двух мусороперерабатывающих заводах.

Переработка твердых отходов, мусора, утилизация низкопотенциального тепла и т.д. могут быть использованы для периодического и малообъемного производства универсального энергоносителя, который должен просто и надежно сохраняться, быть достаточно компактным и транспортабельным, легко преобразовываться в нужный вид энергии.

Перспективным, на наш взгляд, является использование плазменного метода переработки бытовых отходов, предложенного учеными Санкт-Петербурга и Москвы.

На основе плазмотронов разработан источник тока, позволяющий перевести любое газообразное топливо непосредственно в электрическую энергию с КПД порядка 50-80%, т.е. значительно выше, чем на электростанциях, использующих традиционный способ преобразования. При помощи плазменного преобразователя тока можно очищать дым из коптящих труб предприятий превращать такой вид энергии в электричество.

При внедрении отработанной технологии сбора и переработки местных ресурсов в топливо практически можно устранить энергетическую зависимость от внешних поставок традиционного топлива.

С развитием малой энергетики и ростом электрогенерирующих мощностей целесообразно расширить перечень процессов эффективного использования электрической энергии. Необходимо рассматривать возможность использования электрической системы обогрева полов и стен помещений, разработанной Московским энергетическим институтом. В сочетании с традиционным отоплением эта система создает комфортный обогрев в переходные осенне-весенние периоды года. Распределенный обогрев крыш, дорожных покрытий применим для удаления снега и обледенения, снегоочистки улиц.

Изложенные предложения являются только малой частью в перечне задач, требующих незамедлительного углубленного анализа с обоснованием границ и условий их реализации. Несомненно, что направление на энергетическую безопасность и экологизацию энергетики в урбанизированных районах — наиболее правильный путь к устойчивому развитию республики и ее регионов.

РАЗРАБОТКА КОТЛА НА МЕСТНЫХ ВИДАХ ТОПЛИВА ДЛЯ АГРОГОРОДКОВ

Гаркуша К.Э., Зайцева Н.К., Андрейчик А.Е., Бернацкий В.В., Алецкий С.А.
(БГАТУ) г. Минск

Строящиеся в агрогородках жилые дома должны быть выполнены в соответствии с современными требованиями, предъявляемыми к термическому сопротивлению теплопередаче наружных ограждений. В этом случае теплопотери помещений имеют небольшие по величине значения, и при отсутствии централизованного теплоснабжения для отопления таких зданий требуются маломощные водогрейные котлы.

На рынке отопительного оборудования представлена широкая номенклатура отечественных и зарубежных разработок, рассчитанных на различные категории потребителей и работающих на различных видах топлива. Эффективность работы такого рода установок обеспечивается оригинальностью конструкции, наличием регулируемых горелочных устройств и средств автоматизации отпуска теплоты. Однако такой аспект энергосбережения как снижение потерь теплоты с уходящими дымовыми газами в большинстве установок не учтен.

С целью уменьшения потерь теплоты с уходящими дымовыми газами на базе котла КС-ТГВ-Д разработан стальной водогрейный котел КС-ТГ-8. Отличительной его особенностью является то, что он дополнительно снабжен

емкостным водонагревателем, надетым на дымоход. Для интенсификации теплообмена наружная часть дымовой трубы выполняется оребренной. Первичным теплоносителем в водонагревателе являются уходящие дымовые газы котла, вторичным – вода, идущая на горячее водоснабжение жилого дома. Представленный на рисунке 1 котел работает на местных видах топлива. Он имеет прямоугольную форму, водяная емкость котла ограничена с одной стороны топкой, с другой – кожухом с изоляцией.

Загрузочная емкость шахтно-слоевой топки от колосниковой решетки до нижней кромки загрузочной дверки позволяет использовать дрова, кусковой или брикетированный торф в количестве, обеспечивающем бесперебойную работу котла в течение 8 часов.

На передней стенке котла имеются две дверки: верхняя служит для загрузки топлива, нижняя – для обслуживания колосниковой решетки и зольника. В нижней дверке имеется поворотная заслонка, которая с помощью винта регулирует подачу воздуха под колосники для горения топлива. Колосники снабжены шуровочным щитком, с помощью которого производят очистку колосников от золы и шлака. Так как топка котла имеет небольшие размеры, то экранирование ее не требуется [1-3].

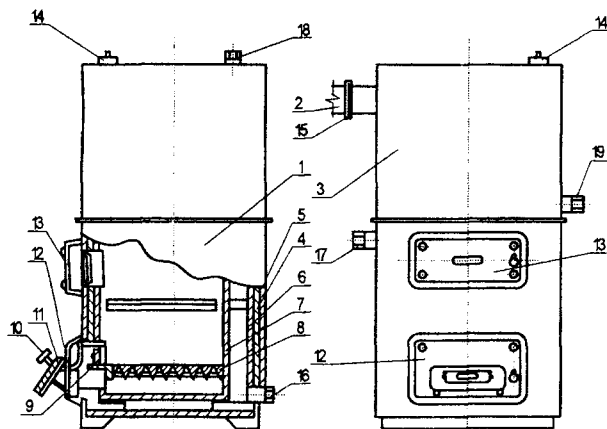


Рисунок 1 – Устройство котла КС-ТГ

1-топка, 2-дымоход, 3-емкостной водоподогреватель, 4-изоляция, 5-кожух, 6-стенка водяной емкости, 7-стенка топки, 8-колосниковая решетка, 9-шуровочный щиток, 10-винт, 11-поворотная заслонка, 12-нижняя дверка, 13-загрузочная дверка, 14-манометрический термометр, 15-шибер, 16-патрубок обратного трубопровода, 17-патрубок подающего трубопровода, 18- патрубок системы горячего водоснабжения, 19-патрубок водопровода.

Дымовые газы на выходе из топки попадают в дымоход, проходящий внутри емкостного подогревателя, нагревают воду, идущую на горячее водоснабжение, и далее направляются в дымовую трубу.

Дымоход снабжен шиберами и обводным каналом. При отсутствии необходимости в горячей воде емкостной водоподогреватель отключается, шибер оребренного дымохода закрывается, и дымовые газы удаляются через обводной канал. В качестве ребер используется стальная полоса толщиной 2 мм и шириной 15 мм, приваренная к наружной поверхности дымохода. Расстояние между ребрами составляет 20 мм, количество ребер – 20 штук.

На водоподогреватель накладывается изоляция, он приваривается к котлу, образуя с последним общий кожух.

Система горячего водоснабжения оборудуется регулятором температуры и предохранительным клапаном.

Определение основных параметров, в первую очередь температур нагрева воды и уходящих дымовых газов, обеспечивается теплотехническим расчетом котельного агрегата по инженерной методике, разработанной для сжигания различных видов топлива с уточнением теплопроизводительности установки.

Разработанный водогрейный котел КС-ТГ-8 рассчитан на обогрев помещения площадью 70-100 м², легко монтируется на месте и прост в эксплуатации.

В летний период при отсутствии отопления для обеспечения жилого дома горячей водой можно установить гелиоводонагреватель.

Топливом для котла КС-ТГ-8 служат дрова, древесные отходы, кусковой торф, торфобрикеты и брикеты из древесных отходов.

Литература

1. Тепловой расчет котельных агрегатов (нормативный метод) /Под ред. Н.В. Кузнецова. – 2-е изд. – Москва: Энергия, 1973.
2. Безгрешнов, А.Н. Расчет паровых котлов в примерах и задачах/ А.Н. Безгрешнов, Ю.М. Липов, Б.М. Шлейфер/ Под ред. Ю.М. Липова. – Москва: Энергоатомиздат, 1991.
3. Делягин, Г.Н. Теплогенерирующие установки: учебник для вузов/ Г.Н. Делягин, В.И. Лебедев, Б.А. Пермяков. – Москва: Стройиздат, 1986.
4. Лебедев, В.И. Расчет и проектирование теплогенерирующих установок систем теплоснабжения: учебное пособие для вузов/ В.И. Лебедев, Б.А. Пермяков, П.А. Хаванов. – Москва: Стройиздат, 1992.

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ЭНЕРГОРЕСУРСОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ПРОДУКЦИИ НА ОАО
«СЛОНИМСКИЙ МЯСОКОМБИНАТ»**

Гаркуша К.Э., Коротинский В.А., Гуляй О.В. (БГАТУ) г. Минск

На предприятиях по переработке сельхозпродукции расходуется значительное количество энергоресурсов, в том числе теплоты на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение. Производство теплоты осуществляется в собственных котельных, большинство из которых, исходя из технологических процессов, являются паровыми. Получение горячей воды при этом осуществляется в пароводяных бойлерах, имеющих невысокую эффективность работы. Для перекачки воды в системе горячего водоснабжения используются насосы, на работу которых затрачивается также значительное количество электрической энергии.

При модернизации котельной ОАО «Слонимский мясокомбинат» наряду с заменой котла возникла необходимость снизить затраты энергии на работу других теплотехнических установок. Так, в системе горячего водоснабжения предприятия было предложено заменить паровой кожухотрубчатый теплообменник трансзвуковым струйным теплообменным аппаратом типа «Фисоник».

Данный аппарат представляет собой металлический тройник с фланцевым, муфтовым или сварным присоединением к наружным коммуникациям. В него поступают отдельно пар и вода, и, смешиваясь, образуют однородную двухфазную пароводяную смесь. Локальная скорость звука в такой смеси мала (5-10 м/с). В итоге пароводяная смесь на входе в камеру смешения имеет скорость, равную или большую локальной скорости звука. При торможении сверхзвуковой смеси на выходе из камеры смешения происходит скачок давления с конденсацией перовой фазы и ростом температуры. В результате давление смеси на выходе из аппарата значительно превышает давление воды и пара на входе.

Из-за развитой поверхности взаимодействия фаз размеры аппарата весьма малы по сравнению со всеми существующими теплообменниками поверхностного типа, включая пластинчатые.

При внешнем сходстве с широко применяемыми струйными аппаратами, такими как пароводяные инжекторы, струйные насосы и т.д., рассматриваемые аппараты имеют значительные отличия. Они могут работать при давлении пара

как больше, так и меньше, чем давление воды на входе. При этом расход нагретой воды не зависит от противодействия, устройство работает на скачке давления и позволяет осуществлять регулирование в широком диапазоне нагрузок.

В котельной ОАО «Слонимский мясокомбинат» применили режим работы «насос-бойлер», что предусматривает использование аппарата в качестве теплообменника-смесителя и насоса. В этом случае параметры давления и температуры выходной воды по величине превосходят параметры входной воды.

В качестве рассчитываемой теплотребляющей системы выбрана система горячего водоснабжения, суммарный расход горячей воды в которой составляет 1,27 т/ч. Для этого установлены два теплообменных аппарата условным проходом 25 мм, которые рассчитаны на возможное присоединение дополнительных нагрузок.

Экономия теплоты от применения аппарата «Фисонок» достигается за счет высокого КПД его работы (приблизительно 99%), электроэнергии – за счет снижения гидравлического сопротивления сети и создаваемого аппаратом подпора (насосного эффекта). Повышение теплового КПД обусловлено высокой эффективностью теплообмена, отсутствием тепловой инерционности при регулировании и снижением потерь теплоты излучением от поверхности теплообменного оборудования и конденсатопроводов.

К тому же в два и более раз сокращаются эксплуатационные затраты за счет длительной безотказной работы и более высокой по сравнению с бойлерами ремонтнопригодностью аппарата. Малые габариты устройства позволяют высвободить значительные производственные площади. Стоимость установки теплового блока имеет наименьшее, по сравнению с другими возможными вариантами, значение. Дополнительным фактором повышения эффективности использования теплоты является отсутствие надобности в подпитке тепловой сети и выводе подпиточного насоса из работы.

Однако следует учитывать, что при работе аппаратов «Фисоник» в деаэратор будет поступать вода с более низкой температурой, чем у конденсата бойлерной установки. Поэтому потребуется некоторое количество теплоты для догрева воды (разница в температурах конденсата и воды после аппарата составляет 6,2°C).

Для определения целесообразности внедрения трансзвукового струйного теплообменного аппарата в котельной ОАО «Слонимский мясокомбинат» были

учтены все вышеперечисленные факторы его работы и проведено сравнение экономической эффективности работы аппарата с работой существовавшего ранее пароводяного кожухотрубчатого теплообменника, вариант использования которого принят за базовый.

Технико-экономические показатели проекта рассчитаны по общепринятой методике, результаты расчета приведены в таблице 1.

Капитальные затраты согласно расчету окупаются за 1,6 года, что делает применение теплообменного аппарата типа «Фисоник» в котельной ОАО «Слонимский мясокомбинат» экономически целесообразным.

Таблица 1 Технико-экономические показатели проекта замены кожухотрубчатого пароводяного теплообменника в котельной ОАО «Слонимский мясокомбинат»

Показатели	Варианты		Изменения +/-
	Базовый	Проектный	
1. Годовой расход теплоты, ГДж	22233	20844	-1390
2. Потребляемые энергоресурсы:			
- газовое топливо, тыс. м ³	783	734	-49
- электроэнергия, кВт-ч/год	1269	-	-1269
3. Балансовая стоимость действующего оборудования, тыс. руб.	3698	-	-3698
4. Капиталовложения, тыс. руб.	-	6500	+6500
5. Текущие издержки, тыс. руб., в т.ч.:	103498	97132	-6366
- амортизационные, тыс. руб.;	137	241	+104
- затраты на ТО и капремонт, тыс. руб.;	708	52	-656
- затраты на ХВП, тыс. руб.;	-	685	+685
- затраты на электроэнергию, тыс. руб.;	81	-	-81
- расходы на топливо, тыс. руб.	102573	96154	-6419
6. Годовой доход, тыс. руб.	-	4701	+4701
7. Чистый дисконтированный доход, тыс. руб./год	-	23344	-
8. Индекс доходности, отн. ед.	-	4,6	-
9. Срок окупаемости, лет	-	1,6	-

Литература

1. Коваленко, Л.М., Глушков, А.Ф. Теплообменники с интенсификацией теплоотдачи. – Москва: Энергоатомиздат, 1986.
2. Промышленные теплообменные процессы и установки/Под ред. А.М. Бакластова. – Москва: Энергоатомиздат, 1986.

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ КОЖУХОТРУБЧАТЫХ ТЕПЛОУТИЛИЗАТОРОВ В ОТОПИТЕЛЬНО-ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Герасимович Л.С., Синяков А.Л., Цубанов И.А. (БГАТУ) Минск

Анализ теплового и гидравлического расчетов стеклотрубных теплоутилизаторов позволил заключить, что длина и диаметр трубок, расстояние между ними в трубном пучке во многом определяют коэффициент эффективности теплоутилизатора, его тепловую мощность и потери давления по потокам приточного (наружного) и вытяжного (удаляемого) воздуха.

Нельзя одновременно включать в исходные данные конструктивные характеристики используемых трубок и коэффициент тепловой эффективности работы кожухотрубчатого теплоутилизатора.

Задача оптимизации состоит в разработке теплоутилизатора достаточно высокой эффективности при приемлемой материалоемкости и допустимых потерях давления в теплоутилизаторе.

Принимаем движение вытяжного воздуха внутри вертикальных трубок в направлении сверху–вниз, а приточного воздуха – в горизонтальном направлении в межтрубном пространстве при поперечном омывании трубок. Предусматриваем шахматное расположение трубок в трубном пучке.

Создание теплоутилизаторов с высоким коэффициентом эффективности сопровождается более глубоким охлаждением вытяжного воздуха и большим обмерзанием трубок. Увеличение коэффициента эффективности достигается при значительном увеличении материалоемкости и габаритов теплоутилизатора. Поэтому не следует стремиться к коэффициентам эффективности, превышающих значение 0,5.

Допустимые потери давления могут быть обеспечены при скорости воздуха в трубках не более 10 м/с, а в межтрубном пространстве не более 6 м/с.

Для упрощения расчетов следует задаваться скоростями воздуха в трубках и межтрубном пространстве или предварительно их рассчитывать при известных (принятых) параметрах теплоутилизатора.

Используя найденное нами уравнение для расчета коэффициента теплопередачи в кожухотрубчатом теплоутилизаторе в условиях турбулентного режима движения воздушных потоков, были получены зависимости:

– для определения коэффициента эффективности

$$E = 0,02 \frac{l^{0,66} g_2^{0,135}}{d_1^{0,85} g_1^{0,3}}, \quad (1)$$

где l и d_1 – длина и внутренний диаметр трубок, м; g_2 и g_1 – скорости приточного и вытяжного воздуха, м/с;

– для расчета внутреннего диаметра трубок, м, при заданном коэффициенте эффективности

$$d_1 = 0,01 \frac{l^{0,78} g_2^{0,16}}{E^{1,2} g_1^{0,35}}. \quad (2)$$

Не следует считать приемлемым снижение скорости g_1 с целью повышения коэффициента эффективности. Такое повышение будет достигаться за счет резкого увеличения числа труб и материалоемкости теплоутилизатора.

Нетрудно установить, что увеличение коэффициента эффективности в 1,4 раза требует (при прочих равных условиях) уменьшения скорости вытяжного воздуха и соответственно увеличения числа трубок в 3 раза.

Более эффективным методом повышения эффективности является уменьшение диаметра трубок и увеличение их длины, но при условии допустимых гидравлических сопротивлений теплоутилизатора.

При разработке компактного и эффективного теплоутилизатора необходимо использовать трубки возможно меньшего диаметра и обеспечить его работу при максимально допустимых скоростях воздушных потоков.

К РАСЧЕТУ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ В КОЖУХОТРУБЧАТЫХ ТЕПЛОУТИЛИЗАТОРАХ

Герасимович Л.С., Цубанов И.А. (БГАТУ) г. Минск

Теплоутилизаторы представляют перспективное энергосберегающее оборудование, однако до настоящего времени не выявлены области экономически целесообразного применения различных конструкций теплоутилизаторов в климатических и эксплуатационных условиях сельскохозяйственных производственных помещений.

Применение кожухотрубчатых теплоутилизаторов типа «воздух-воздух» имеет ряд преимуществ, как надежное разделение воздушных потоков, отсутствие движущихся частей, высокая технологичность изготовления, низкие аэродинамические сопротивления воздушных трактов, достаточная надежность при эксплуатации и возможность замены металла другими материалами.

Одной из основных характеристик теплообмена в теплоутилизаторе является коэффициент теплопередачи. В настоящее время существует упрощенная методика расчета коэффициента теплопередачи. Задача состоит в нахождении зависимости для расчета коэффициента теплопередачи, удобной и надежной при определении и анализе основных теплотехнических показателей работы кожухотрубчатых теплоутилизаторов.

Рассмотрим условия теплообмена в теплоутилизаторе с шахматным расположением труб. Удаляемый воздух движется внутри вертикальных труб сверху-вниз, а приточный – горизонтально в межтрубном пространстве. В этом случае упрощаются процессы очистки поверхности труб и удаления конденсата, образующегося при охлаждении удаляемого воздуха.

Коэффициент теплопередачи зависит от многих переменных, одни из которых относятся к входным (исходным), а другие – к определяющим (регулирующим) условиям теплообмена.

Входными переменными считаются теплофизические свойства удаляемого и приточного воздуха, а определяющими – скорости воздушных потоков, диаметры и длина труб, число рядов труб по ходу приточного воздуха, теплопроводность материала труб, коэффициент влаговыпадения при конденсации водяных паров в составе удаляемого воздуха и др.

Сложность физической природы процессов теплообмена и их математического описания в форме системы дифференциальных уравнений ограничивает возможности аналитического исследования.

Для решения поставленной задачи используем результаты экспериментальных исследований процесса теплообмена.

При этом будем считать:

- теплоутилизатор является аппаратом с постоянными значениями переменных в его пространстве;
- теплоутилизатор работает в стационарных, установившихся условиях;
- термическое сопротивление теплопроводности стенок труб мало по сравнению с термическими сопротивлениями теплоотдачи на поверхностях труб.

Введем ограничения в рабочем диапазоне изменения переменных:

- отношение коэффициентов теплоотдачи $\alpha_2 / \alpha_1 = 1 - 4$;
- трубы, используемые в теплоутилизаторе, являются длинными ($l/d \geq 50$), поэтому $\epsilon_l = 1$;

– при движении удаляемого воздуха в трубах $Re_1 \geq 5000$, что обеспечивает достаточно высокий коэффициент теплоотдачи α_1 ;

– поперечный и продольный шаги между трубами примерно равны, что позволяет принять $\varepsilon_s = 1$;

– отношение диаметров $d_2 / d_1 = 1,1$.

После решения системы уравнений получаем зависимости для расчета коэффициента теплопередачи k , Вт/(м² К):

$$\text{– при } Re_1 = 5 \times 10^3 - 10^4 \quad k = 3,43 \xi^{0,667} g_1^{0,76} g_2^{0,2} d_1^{-0,058},$$

$$\text{– при } Re_1 = 10^4 - 5 \times 10^6 \quad k = 2,28 \mu_{ст} \xi^{0,667} g_1^{0,534} g_2^{0,2} d_1^{-0,266},$$

где ξ – коэффициент влаговыведения; g_1 и g_2 – скорости удаляемого и приточного воздуха, м/с; d_1 – внутренний диаметр труб, м; $\mu_{ст}$ – коэффициент, учитывающий термическое сопротивление стенок труб.

Полученные уравнения состоят из независимых переменных, которые определяют коэффициент теплопередачи в кожухотрубчатых теплоутилизаторах. Использование этих уравнений упрощает выполнение тепловых расчетов теплоутилизаторов.

НЕСИММЕТРИЯ И НЕСИНУСОИДАЛЬНОСТЬ НАПРЯЖЕНИЙ В СЕТЯХ 0,38 кВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

В. М. Збродыго (БГАТУ) г. Минск

Несинусоидальность и несимметрия напряжений неблагоприятно воздействует на энергосистему и электропотребителей, вызывая увеличение потерь напряжения и мощности в сетях, уменьшение их пропускной способности, нарушение нормальной работы электрооборудования и снижение его срока службы, снижение качества и количества выпускаемой продукции, уменьшение производительности труда.

Автором проведены исследования уровней несинусоидальности и несимметрии напряжений в сетях 0,38 кВ сельскохозяйственного назначения Республики Беларусь. Установлено, что при загрузке питающих трансформаторов менее 50 % в их распределительных сетях среднесуточные и даже максимальные значения исследованных показателей качества электроэнергии в подавляющем большинстве случаев не превышают установленных ГОСТ 13109-97 нормально допустимых значений, так как

мощности искажающих электроприемников слишком малы по сравнению с мощностями этих трансформаторов.

Высокая степень загрузки питающих трансформаторов (до 70 % и выше) в совокупности с наличием нелинейных и несимметричных электроприемников приводит к значительному снижению качества электроэнергии, так как мощностями искажающих электроприемников могут быть соизмеримы с мощностями питающих трансформаторов. Токи высших гармоник, токи обратной и нулевой последовательности при этом довольно велики и вызывают существенные падения напряжений на элементах системы, искажая симметрию и синусоидальность сетевых напряжений. К тому же при высокой степени загрузки, сопровождающейся насыщением магнитной системы, трансформаторы сами являются источниками высших гармоник, что приводит к еще более значительному искажению синусоидальности формы кривых напряжений.

В целом результаты исследований показали, что среднесуточные значения коэффициента искажения синусоидальности напряжения (таблица 1), коэффициентов несимметрии по обратной (таблица 2) и нулевой (таблица 3) последовательности в большинстве точек измерения не выходят за пределы нормально допустимых стандартом значений. Максимальные значения вышеназванных коэффициентов при высокой степени загрузки трансформатора в 2...3 раза превышают их среднесуточные значения и часто выходят за допустимые нормы, особенно в коммунально-бытовом секторе нагрузки.

Таблица 1 - Распределение среднесуточных значений коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения

Коэффициент искажения $K_u, \%$	Количество точек измерения, шт.	
	Нагрузка производственная	Нагрузка коммунально-бытовая
менее 2,0	5	2
2,0...3,0	21	17
3,0...4,0	34	29
4,0...5,0	23	21
5,0...6,0	9	13
более 6,0	2	4

Таблица 2 - Распределение среднесуточных значений коэффициента несимметрии напряжений по обратной последовательности

Коэффициент несимметрии K_2 $U, \%$	Количество точек измерения, шт.	
	Нагрузка производственная	Нагрузка коммунально-бытовая
менее 0,5	3	2
0,5...1,0	37	16
1,0...1,5	43	44
1,5...2,0	11	19
более 2,0	0	5

Таблица 3 - Распределение среднесуточных значений коэффициента несимметрии напряжений по нулевой последовательности

Коэффициент несимметрии K_0 $U, \%$	Количество точек измерения, шт.	
	Нагрузка производственная	Нагрузка коммунально-бытовая
менее 1,0	12	0
1,0...2,0	41	4
2,0...3,0	25	19
3,0...4,0	13	32
4,0...5,0	3	23
более 5,0	0	8

Анализ спектра высших гармоник показывает, что преобладающими являются третья, пятая, седьмая и девятая гармоники. Пятая, седьмая и девятая гармоники достигают иногда до 3...4 % от уровня основной гармоники, а третья – до 5...6 %, что превышает нормально допустимые значения. Замечены такие нечетные гармоники до 23-й включительно, но их значения не превышают допустимых значений. Соседние четные гармоники на порядок ниже. Гармоники с 24-й по 40-ю практически незаметны. Из аномальных гармоник можно выделить вторую (до 1 %).

В результате экспериментальных исследований установлено наличие несимметрии и несинусоидальности напряжений в сельских электрических сетях 380/220 В, которые при загрузке питающих трансформаторов выше 50 % и наличии в структуре нагрузок нелинейных и несимметричных электроприемников зачастую превышают допустимые согласно ГОСТ 13109-97 значения. С учетом неблагоприятного воздействия некачественного напряжени

на работу всех элементов электрических систем в этих сетях требуется проведение мероприятий по снижению уровней несимметрии и несинусоидальности напряжений для обеспечения надежной и эффективной работы электроустановок сельскохозяйственных потребителей производственного и коммунально-бытового сектора.

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ТРАНСФОРМАТОРНОЙ ПОДСТАНЦИИ

Зеленькевич А.И. (БГАТУ) г. Минск

Аппаратура подстанции, предназначенная для защиты, управления, наблюдения, учета и связи, относится к вспомогательному оборудованию. Подстанция, на которой вспомогательное оборудование связано между собой при помощи последовательных интерфейсов, называется *автоматизированной подстанцией*.

Современная автоматизированная подстанция включает интеллектуальные электронные устройства (ИЭУ) для всех функциональных компонентов. К ИЭУ относятся устройства защиты, устройства управления, комбинированные устройства управления и защиты, а также станционные модули.

Защита

Все необходимые функции защиты (линии, трансформаторов, генератора, шин) реализуются устройствами защиты.

Управление

Эти функции реализуются устройствами управления, комбинированными устройствами управления и защиты, либо станционным модулем.

В число основных функций управления входят следующие: управление секционным выключателем (СВ); управление разъединителем; управление заземляющим разъединителем; управление переключателем обмоток трансформатора (РПН); блокировка; проверка синхронизации перед включением СВ.

В число дополнительных функций управления входят следующие: последовательность коммутации; автоматическое отключение неисправных секций; автоматическое переключение шин; интеллектуальные устройства АПВ; распределение нагрузки между линиями; интеллектуальное сбрасывание нагрузки; интеллектуальные модули восстановления электроснабжения.

Функции управления на уровне станции

Типичные функции управления на уровне станции: блокировка в пределах подстанции; синхронизация точного времени в пределах станции; хранение архивов измерений; сбор файлов регистрации сбоев; анализ и диагностика.

Учет потребления

Данные учета потребления используются для целей тарификации.

Наблюдение

Функции наблюдения можно разделить на основные и дополнительные.

Основные функции наблюдения: индикация состояния распределительной аппаратуры; измерение параметров; список событий; список аварийных сигналов.

Дополнительные функции наблюдения: составление журналов неисправностей и сбоев; обсчет измеренных параметров.

Анализ и диагностика

Одним из основных преимуществ автоматизированной системы является ее способность собирать информацию для анализа или диагностики состояния оборудования подстанции.

Интеллектуализация управления и восстановления

Станционный модуль имеет все существенные данные о подстанции. Эти данные легкодоступны и могут быть использованы для автоматического управления подстанцией и восстановления электроснабжения.

Автоматизация документирования

Автоматическое ведение документации необходимо для всех изменений, модернизации или модификации подстанции, а также для событий, вызванных операциями по управлению.

Безопасность и надежность эксплуатации

Одно из наиболее выдающихся качеств современных автоматизированных систем, подчеркивающее их необходимость — их надежность и безопасность в эксплуатации. Вероятность неправильного выполнения команды чрезвычайно мала.

Многokратное использование данных

Все имеющиеся в автоматизированной системе данные хранятся и доступны всем устройствам для последующей обработки.

Одним из элементов управления подобной автоматизированной подстанцией может служить разработанный на кафедре “Электроснабжение сельского хозяйства” БГАТУ цифровой регулятор-измеритель [1, 2].

Выводы

Автоматизация подстанции предполагает снижение стоимости технического обслуживания основного оборудования, оборудования управления и защиты, так как требуется меньше времени для обнаружения неисправностей и их устранения, а так же благодаря уменьшению количества кабелей и пространства, необходимого для оборудования управления и защиты, и снижения количества оборудования, предназначенного для выполнения единственной специализированной функции.

Литература

1. Пат. 882 U BY, МПК Н 02J 3/18, Н 01F 21/00, G05B 13/02. Устройство для управления оборудованием трансформаторной подстанции / Счастный В.П., Зеленкевич А.И., Жуковский А.И., Зеленкевич Е.И. - №882 U; Заявл. 27. 08 2002; Опубл.30.06.2003 // Афіцыйны бюлетэнь / Дзярж. пат. ведамства Рэсп. Беларусь. – 2003. - №2. – с. 277.

2. Счастный В.П., Зеленкевич А.И. Учет и управление электропотреблением сельскохозяйственных объектов / Труды Таврической государственной агротехнической академии - Вып. 6 – Мелитополь: ТДАТА, 2002. – с. 60-63.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ С СОБСТВЕННЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ЭНЕРГИИ В РЫНОЧНЫХ УСЛОВИЯХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

Колесник Ю.Н., Веньгин К.А. (ГогТУ им. П.О. Сухого) г. Гомель

В связи с внедрением в настоящее время электрогенерирующих мощностей на основе паротурбинных, газотурбинных и парогазовых установок с созданием малых ТЭЦ, возникает задача оценки влияния собственных генераторов электроэнергии наравне с электроприемниками потребителя на энергоэффективность работы предприятий. Поэтому актуально моделировать и оценивать эффективность комплексных режимов и производить выбор оптимального варианта потребления и генерации для заданного объема производства.

В условиях наличия собственного генератора электроэнергии, задачи энергосбережения необходимо решать в два этапа:

1. Оптимизация режимов потребления электроприемников [1];

2. Оптимизация режимов работы генераторов электроэнергии [2].

Для решения задачи оптимизации режимов работы предприятия в условиях нестабильности производственных программ требуется найти решение целевой функции вида:

$$W = \sum_{i=1}^n W_k \rightarrow \min,$$

где k – признак характерного режима; n – количество характерных технологий; W – электропотребление предприятия за расчетный период; W_k – электропотребление при работе предприятия в k -м режиме:

$$W_k = W_k^{эн} - W_k^{ген},$$

где $W_k^{эн}$ и $W_k^{ген}$ – потребление электроэнергии приемниками и генерация собственными источниками электроэнергии предприятия за расчетный период.

Решение вышеприведенной оптимизационной задачи методом последовательного улучшения плана [3] дает оптимальный план технологий по критерию минимума электропотребления за расчетный период [4].

Экономический эффект при этом обеспечивается оптимальным распределением характерных технологий (состава оборудования) и режимов генерации в течение расчетного периода. Для предприятия ОАО «Мозырьсоль» расчетный эффект от оптимизации режимов в 3 квартале 2005 г. составил 283,68 млн. руб., или 5 % от электропотребления данного периода (табл. 1).

Таблица 1. Оптимизация электропотребления ОАО «Мозырьсоль»

Расчетный период	Признак режима	Объем производства, т	Электропотребление, тыс. кВт·ч	Эффект, тыс. кВт·ч
3 квартал – 2005 г.	исходный	104219,19	4905,08	283,68
	оптимальный		4621,408	

Возможность управления собственным генератором электроэнергии выявляется в каждом конкретном случае исходя, главным образом, из типа генерирующей установки и схемы включения в электрические и тепловые сети потребителя и энергосистемы. В работе рассматривалась возможность управления генераторами ОАО «Мозырьсоль», где установлена мини-ТЭЦ в составе двух паротурбинных установок общей электрической мощностью 3 МВт.

Задачу управления генератором электроэнергии необходимо решать таким образом, чтоб затраты на электроэнергию потребителя были оптимальными.

Моделирование графика нагрузки при этом реализуется с помощью метода контрморфного преобразования исходной функции (КМ-преобразования).

Предварительная оценка эффекта от управления собственными генераторами электроэнергии показала, что наиболее выгодным является КМ-преобразованный режим с одновременным переходом предприятия на двухставочно-дифференцированную систему расчета за электроэнергию (табл. 2).

Таблица 2. Эффективность управления генератором электроэнергии ОАО «Мозырьсоль»

Режим потребителя	Годовые затраты на электроэнергию, млн. руб	Эффект, млн. руб
Исходный	2175,6	-
Преобразованный	2079,6	96
Преобразованный с переходом на дифференцированный тариф	1884,5	211,3

Дальнейшее совершенствование режимов работы мини-ТЭЦ связано с управлением, основанным на разработке технико-экономической модели эффективности генерации электроэнергии.

Литература

1. Колесник Ю.Н. Моделирование, анализ и управление электропотреблением нестабильно работающих участков нефтепровода: Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. техн. наук по специальности 05.14.02 – «Электростанции и электроэнергетические системы». – Мн., 2003. – 22 с.

2. Колесник Ю.Н., Веньгин К.А. Повышение эффективности управления генераторами электроэнергии потребителей в рыночных условиях функционирования // Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого. – № 2. – 2006. – С. 60–65.

3. Кузнецов А.В., Холод Н.И., Костевич Л.С. Руководство к решению задач по математическому программированию. – Мн.: Вышш. школа, 2001. – 448 с.

4. Колесник Ю.Н., Токочакова Н.В., Половинко С.И. Использование математического моделирования для повышения эффективности работы участков нефтепровода // Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого. – № 2. – 2005. – С. 32–36.

ИНИЦИИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ В ВОДНО-ВОЗДУШНОЙ ТОПЛИВНОЙ ГОРЕЛКЕ

Кузьмич В.В., Кашкан Л.М., Терешкова С.Г. (РУНИП «ИМСХ НАН Беларуси») Минск

Для резки, сварки и пайки термостойких материалов применяются портативные сварочные аппараты (называемые также горелками).

Схема одного из них российского производства «Плазарь АПО22» (исключая позиции 3-7) представлена на рисунке.

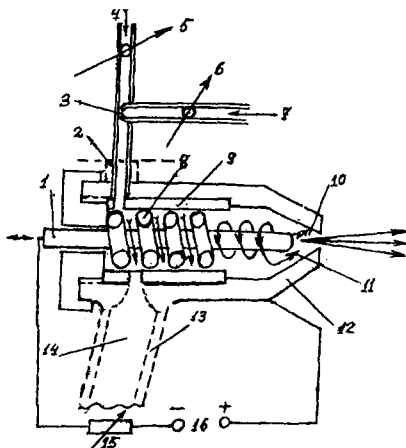


Схема устройства комплексной системы горелки: 1 – катод; 2 – крышка водозаливного отверстия; 3 – распылитель воды; 4 – подвод сжатого воздуха; 5 – регулятор расхода сжатого воздуха; 6 – регулятор расхода воды; 7 – подвод воды; 8 – завихритель водно-паровоздушной смеси; 9 – изолятор; 10 – плазма; 11 – вихревое движение водно-паровоздушной смеси; 12 – анод; 13 – ручка сварочного аппарата; 14 – резервуар для воды; 15 – регулятор тока плазменной дуги; 16 – источник электрической энергии

Горелка работает следующим образом. Через крышку 2 водозаливного отверстия во внутренний резервуар 14, который расположен в полости 13 ручки сварочного аппарата, направляется вода. После кратковременного замыкания катода 1 на анод 12 и последующего размыкания между ними образуется электрическая дуга. В результате резкого повышения температуры вода испаряется и под давлением вихреобразно проходит через электрическую дугу, диссоциируя (разлагаясь) на кислород и водород. Последний на выходе из горелки быстро сгорает. В результате температура нагрева достигает 6000-

8000°C, что создает возможность разрезать даже высокотвердые материалы - бетон, камень, керамику, сталь и т.д. Для сварки и пайки используются смеси воды с некоторыми спиртами - этиловым, пропиловым или бутиловым. Электрическая мощность сварочного аппарата составляет 1,8 кВт.

Плазменная горелка такого устройства отличается экологической чистотой, так как отсутствуют сажевые выбросы, копоть, дым, не наблюдается никакого разбрызгивания. Поэтому обработку материалов можно производить даже в закрытых помещениях.

Однако горелка имеет ряд недостатков, основным из которых является то, что вода, направляясь через водозаливное отверстие, попадает во внутренний резервуар, расположенный на ручке сварочного аппарата, и ее хватает всего на 0,5 часа работы. Затем аппарат необходимо отключать от сети, охлаждать, вновь заправлять водой и заново вводить в работу.

Для устранения этого недостатка мы внесли в конструкцию плазменной горелки некоторые изменения, которые позволили использовать её в качестве теплогенератора с неограниченным во времени режимом работы. Горелка дополнена патрубками, через которые поступает вода 7 и сжатый воздух 4 (см. рисунок). Оба реагента проходят через расходомеры 6 и 5, а вода перед поступлением в реакционное пространство распыляется в распылителе 3. Хотя при этом температура на выходе из плазменной горелки несколько понижается, зато создаётся возможность повысить мощность самого теплогенератора до 10-100 кВт и выше.

Такие изменения позволяют сконструировать экологически чистый теплогенератор, внутри которого под действием электрической дуги распыленная вода превращается в водяной пар, являющийся идеальной плазмообразующей средой, представляющей удачное и дешевое сочетание водорода с кислородом, которые на выходе сгорают и позволяют осуществлять любые термические процессы и преобразования - нагрев, отопление, резку, сварку, пайку и т.д.

В качестве источника электроэнергии для рассматриваемого теплогенератора целесообразно использовать энергосберегающий трансформатор, принцип действия которого описан в [1], [2], и который хорошо зарекомендовал себя при электродуговой плазменной нагрузке.

В настоящее время прорабатывается вопрос об инвестировании работ по целевому использованию водно-воздушной топливной горелки в качестве теплогенератора, в котором энергосберегающий трансформатор выступает в

роли основного источника энергии. Планируется изготовление, апробирование и внедрение предлагаемой разработки в промышленном и аграрном секторах хозяйства Республики.

Литература

1. Русан В.И., Кузьмич В.В., Кашкан Л.М. Сравнительный анализ работы опытного трансформатора с плоско-спиральными низковольтными катушками и серийного, с соленоидальной вторичной намоткой. Материалы III-й Международной научно-технической конференции. Мн.: Технопринт. 2005. С. 146-147.

2. Кашкан Л.М. Об энергетике вихревых взаимодействий (энергия из гравитационного поля). Материалы П-й Международной научно-технической конференции, посвященной 10-летию института энергетики АПК НАН Беларуси. Мн.: Технопринт. 2003. С. 293-297.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПЕРЕРАБОТКИ ВТОРИЧНОГО СВИНЦОВОГО СЫРЬЯ С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО СВИНЦА, ПРИГОДНОГО ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ

Кузьмич В.В., Кохановский В.В., Терешкова С.Г. (РУНИП «ИМСХ НАН Беларуси») Минск

Среди химических источников тока свинцово-кислотные аккумуляторы по объему производства занимают первое место. Современная аккумуляторная промышленность потребляет более половины производимого свинца. К настоящему времени мировые запасы свинецсодержащих полиминеральных руд истощились. Поэтому проблема получения свинца из вторичных ресурсов (аккумуляторного лома, кабельных оболочек, баббитов и др.) выглядит актуальной, своевременной и необходимой. Использование вторичного сырья имеет неоспоримые преимущества перед использованием свинцовых руд, так как позволяет экономить топливо, электроэнергию, трудозатраты и т.д.

Известны два принципиально различных метода переработки вторичного свинцового сырья - хорошо изученный и разработанный пирометаллургический и современный, постоянно совершенствуемый гальванический. При регенерации свинца обоими методами требуется предварительная разделка аккумуляторного лома, т.е. отделение свинецсодержащей части от органической.

Для разделки аккумуляторного лома применяют сложную технологию дробления, грохочения и отсадки, по которой получают три продукта: свинцовый концентрат, представляющий собой материал решеток и контактов,

состоящий из свинцово-сурьмяного сплава, содержащий 85-87 % свинца или 92-94 % сплава; аккумуляторный шлам, в состав которого входят сульфат и оксиды свинца и некоторая часть органического материала; отвальные хвосты, основную массу которых составляют полимерные материалы и незначительную часть (4-5 %) - свинец.

Известны три метода пирометаллургической переработки аккумуляторного лома - отражательная, шахтная и электродуговая плавки, которые проводятся при высоких (вплоть до 1200 °С) температурах. Шахтная и электродуговая плавки имеют существенные преимущества перед отражательной, так как характеризуются более высоким извлечением свинца, производительностью и экономичностью. Однако при использовании всех трех пирометаллургических методов образуются шлаки и спрудины, с которыми теряются значительные количества свинца.

При пирометаллургической переработке аккумуляторного лома требуется применение восстановителей кокса, антрацита и др. и флюсов - кальцинированной соды, известняка, флюорита. В ходе плавки образуется большое количество твердых отвальных продуктов, и выделяются вредные газы - диоксид серы, оксид углерода и углекислый газ. Как твердые, так и газообразные продукты являются экологически опасными и отрицательным образом влияют на жизнедеятельность человека и животных.

Громоздкость и сложность пирометаллургической схемы, её энергоёмкость, обусловленная поддержанием высоких температур металлургических печей, и экологическая опасность побочных продуктов стимулировали поиски принципиально новых, более приемлемых методов переработки вторичного аккумуляторного сырья. И одним из таких методов оказался гальванический. Гальванические методы выгодно отличаются от металлургических меньшей энергоёмкостью, значительно меньшим количеством отходов (отработанные растворы находятся в обороте) и меньшей экологической опасностью.

В настоящее время в лаборатории энергосберегающих технологий, электрификации и автоматизации РУНИП «Институт механизации сельского хозяйства НАН Беларуси» выполняется важная Государственная программа по разработке технологии и оборудования для переработки свинецсодержащего сырья на основе утилизации отходов аккумуляторных батарей сельхозмашин. Для решения поставленных задач выбран гальванический метод как наиболее перспективный. Планируется получать свинец не ниже марки С1 (чистота 99,985 % Pb) по ГОСТ 3778-77. Проводится разработка методик с применением в

качестве электролитов растворов п्लомбита натрия Na_2PbO_2 либо кремнефтористоводородного свинца PbSiF_6 . В первом случае в качестве растворителя сульфата и оксидов свинца используется гидроксид натрия. После растворения и фильтрования рабочий раствор поступает в гальваническую ванну, где в результате электролиза на катоде осаждается губчатый свинец, который после уплотнения на прессе поступает в печь на переплавку при 480°C и разливается в формы. Концентрация раствора гидроксида натрия, образующегося в процессе электролиза, корректируется, и раствор опять поступает на растворение сырья.

Сущность второго метода заключается в переводе сульфата свинца в карбонат, растворении карбоната и оксидов свинца в кремнефтористоводородной кислоте H_2SiF_6 с образованием кремнефтористого свинца и его электролизе. Методика предусматривает образование «плотного свинца» на катоде, изготовленного из высококачественного металлического свинца (99,99 %). Образующаяся при электролизе кремнефтористоводородная кислота остается в системе и поступает на растворение новой порции сырья.

Проект имеет важное экономическое и экологическое значение, так как направлен на переработку накопившегося в больших количествах дешевого вторичного свинцового сырья и уменьшение рассеяния экологически вредного тяжелого металла. Проект решает и другие важные для страны задачи в области импортозамещения и ресурсосбережения. Рациональная и экономическая переработка свинцового лома позволит получать свинец высокого качества и использовать его для производства отечественных аккумуляторов.

ЭКОНОМИЯ ЖИДКИХ ТЯЖЕЛЫХ ТОПЛИВ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХСЯ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССАХ И УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА ИХ СЖИГАНИЯ

Кузьмич В.В., Тетёркин Д.А. (РУНИП «ИМСХ НАН Беларуси») Минск

Переход нефтеперерабатывающих предприятий на углубленную переработку нефти привел к поступлению потребителям мазута с повышенной вязкостью. Для доведения вязкости до приемлемых значений мазут необходимо разогреть до температуры 130°C и выше, что приводит к резкому перерасходу тепла, выделению из мазута твердых коксообразных веществ и повышению его обводненности (мазут прогревают водяным паром). Известно, что подмешивание в мазут 8–12 % пиролизной смолы с последующей

высокоинтенсивной гидромеханической обработкой позволяет снизить его вязкость до 35 %. Пиролизная смола является побочным продуктом производства нефтеоргсинтеза и может использоваться в качестве компонента жидкого топлива. И хотя применение такой высокоомогенизированной смеси в производственных условиях позволяет снизить температуру хранения и температуру распыла горючего в среднем на 20⁰С (что приводит к экономии энергии, эквивалентной 1–1,7 % сжигаемого топлива) и повысить КПД котла на 1–1,5 %, применение пиролизной смолы не решает проблему обводненности мазута.

Наличие свободной воды в мазуте – технологическая и экологическая проблема. Присутствующая в нем грубодисперсная вода в процессе хранения топлива агломерируется в водяные линзы и осаждается на дно емкостей хранилищ. Попадая в трубопроводы, а затем и в топливораспределительные форсунки, водяные линзы гасят пламя. В результате седиментации в донной части хранилищ образуется слой замазученной воды, которую недопустимо сбрасывать в окружающую среду без тщательной, а значит, и дорогостоящей очистки.

Присутствие тонкодисперсной воды в составе водно-мазутной эмульсии способствует повышению скорости и эффективности сжигания топлива. Если грубые водно-мазутные смеси с различным содержанием воды подвергнуть высокоинтенсивной гидромеханической обработке в кавитационном поле, они преобразуются в водно-мазутные эмульсии по типу «вода-масло». Приготовление и сжигание водно-мазутных эмульсий снимает все проблемы, связанные с наличием воды в мазуте. Содержание воды в таких эмульсиях может достигать 30–40 %, однако наилучшие показатели горения получены при ее количестве в 15–20 %. Это в итоге позволяет экономить от 13 до 17 % топлива. Кроме того, тонкодисперсная водная фаза оказывает положительное влияние на процесс горения топлива как на микроуровне (в пределах одной капли), так и на макроуровне (в пространстве топки).

На микроуровне при размерах дисперсной фазы воды в пределах 6–20 мкм в результате ее бурного вскипания происходит микровзрыв капли в топочном пространстве, что многократно увеличивает поверхность контакта топлива с воздухом и интенсифицирует процесс горения. Микровзрывы водно-мазутной эмульсии наиболее часто проявляются при размерах водяных капель в 6–10 мкм. Вскипание мелких включений воды (1–5 мкм) и постепенный рост парового

пузыря на месте крупных включений (от 20 мкм и выше) приводит к увеличению объема капли мазута, вследствие чего усиливаются потоки легких фракций к ее поверхности и их испарение.

На макроуровне при горении водно-мазутной эмульсии водяные пары играют роль физических возбудителей конвективной гомогенизации топливно-воздушной смеси, приводящей к сглаживанию неравномерности концентрации газов и температурных полей в топочном пространстве. Суммарный эффект интенсификации горения выражается в снижении критического коэффициента избытка воздуха на 5–10 %.

Чем тоньше дисперсная фаза воды в водно-мазутной эмульсии, тем меньше выбросы бенз-(а)-пирена. За счет активизирующего воздействия тонкодисперсной фазы воды в эмульсии на 20–25 % снижается продолжительность подготовки и горения топлива. Сокращается длина факела, в основном за счет хвостовой части, в которой агрегируются сажа и кокс. В итоге концентрация частиц кокса и сажи в продуктах сгорания уменьшается примерно на 90 %. Сопутствующим эффектом уменьшения генерирования сажи и кокса является изменение структуры их отложений на конвективных поверхностях котла. Они становятся рыхлыми и легко удаляются в ходе очисток либо вообще отсутствуют.

В настоящее время нами изготовлена опытная установка по производству водно-мазутной эмульсии. Принцип ее действия основывается на интенсивном высокоэнергетическом кавитационном воздействии на грубую смесь мазута и воды. Производительность установки до 5 тонн эмульсии в час. Установка снабжена расходомерами, позволяющими отслеживать мгновенный расход мазута и воды. В ходе предварительных испытаний были отобраны пробы полученной эмульсии с различным процентным содержанием воды. Анализ проб в Минской самостоятельной территориальной лаборатории проводился по четырем основным показателям (теплота сгорания, плотность, влажность, содержание серы). Результаты исследования проб показали, что водно-мазутная эмульсия, изготовленная из мазута М100 с содержанием воды 17 %, соответствует требованиям, предъявляемым к чистому мазуту марки М100. Отмечено лишь незначительное снижение теплоты сгорания (на 3,5 %), соответствующее заложенным в технических условиях требованиям. Кроме того, анализ эмульсии на содержание воды смог выявить только 5 % воды в эмульсии при реальных 17 %, что свидетельствует о химическом связывании

воды в топливе и, соответственно, о возможности целевого увеличения количества добавляемой воды. Отобранные пробы проходят испытания на стабильность.

Таким образом, с экологической и экономической точек зрения, в современных условиях мазут в энергетических котлах целесообразно сжигать преимущественно в виде водно-мазутных эмульсий, полученных высокоинтенсивной кавитационной обработкой, что позволит экономить до 20 % топлива.

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОБРАБОТКИ ТЕРМОЛАБИЛЬНЫХ СРЕД В ЭЛЕКТРОДНЫХ ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ

Прищепов М.А., Рутковский И.Г. (БГАТУ) Минск

Значительное влияние на качество сельскохозяйственных термолабильных сред, при нагреве их электрическим током оказывают отложения на электродах. При обработке молочных, мясных, рыбных продуктов, фруктовых и овощных соков, кормов и пищевых отходов на электродах неизбежны отложения. Под действием высоких температур на компоненты продукта, происходят необратимые физико-химические изменения, например денатурация белка. В зависимости от вида продукта и режима обработки отложения бывают нескольких видов. Но по влиянию на электротепловую обработку их можно разделить на две группы [1]:

– мягкий, пушистый налет из денатурированного белка, который образуется при небольшом перегреве, он легко удаляется;

– пригар, похожий на камень, который состоит из денатурированного белка и волокон клетчатки, сцементированных солями; образуется при сильном перегреве, плохо удаляется.

Интенсивность образования отложений зависит от плотности тока, наивысшей температуры нагрева обрабатываемой среды, наличия застойных зон, скорости движения продукта в аппарате, кислотность и содержания газов [1, 2].

Образование отложений приводит к трудностям в эксплуатации установки, так как отложения образуют дополнительное сопротивление на границе электрод-среда и приводят к уменьшению межэлектродного расстояния. Это приводит к перераспределению напряжения и мощности в межэлектродном пространстве электродного электронагревателя. Отложения на электродах приводят к неравномерному распределению плотности тока на электродах по

всей длине электронагревателя, что вызывает неравномерный нагрев и способствует лавинообразному нарастанию количества отложений. Отложения ухудшают качество обрабатываемого продукта: изменяется цвет, вкус, запах и т.д.

При обработке жидких сред, таких как молоко и соки, остро стоит проблема уменьшения контактного сопротивления на границе электрод-среда, которая вызывает перегрев среды у электродов и приводит к ухудшению качества обрабатываемой среды и росту отложений на электродах. На перегрев среды у электродов влияет соотношение скорости потока обрабатываемой среды между электродами и плотности тока [3]. Отложения можно уменьшить, увеличивая турбулентность обрабатываемой среды между электродами ЭЭН. По исследованиям Нания Е.П., при электродном электронагреве выделяемая мощность в единицу объема изменяется как по длине электронагревателя, в связи с увеличением температуры и проводимости, так и в межэлектродном пространстве (температура в центре потока и возле электродов будет различной). Это один из факторов, который вызывает перегрев обрабатываемой среды у электродов и приводит к увеличению количества отложений на электродах. Им установлено, что на количество отложений сильно влияют два фактора: скорость движения обрабатываемой среды и плотность тока на электродах.

При обработке на переменном токе среды с нормальным pH необходимо вести нагрев при плотности тока (напряженности электрического поля) не превышающей допустимых значений. Расчет ЭЭН с учетом допустимой плотности тока и соотношения плотности тока и скорости потока обрабатываемой среды достаточно сложная задача, решить которую известными способами затруднительно, а часто и невозможно. Соблюдение допустимых значений плотности тока и ее соотношение со скоростью потока обрабатываемой среды достигается при использовании численных методов расчета многозонных ЭЭН.

Литература

1 Маслов, А.М. Аппараты для термообработки высоковязких жидкостей / А.М. Маслов. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отделение, 1980. – 208 с.

2 Плахотный, В.Т. Исследование влияния различных факторов на образование пригара в пластинчатых теплообменниках / В.Т. Плахотный, А.К. Юхимец, В.А. Анистратенко // Молоч. пром-сть. –1979. –№1. – С. 40 – 42.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ОТ НЕСИММЕТРИИ НАПРЯЖЕНИЯ В НИЗКОВОЛЬТНЫХ СЕТЯХ

Протосовицкий И.В., Янукович Г.И. (БГАТУ) Минск

Экономия электроэнергии в электрических сетях можно определить по формуле:

$$W = (\Delta P_T + \Delta P_L) \tau, \quad (1)$$

где ΔP_T - снижение потерь мощности в трансформаторе;

ΔP_L - снижение потерь мощности в линии;

τ - время потерь.

Снижение потерь мощности в трансформаторе :

$$\Delta P_T = \Delta P_{T1} - \Delta P_{T2}, \quad (2)$$

где ΔP_{T1} - потери активной мощности в трансформаторе от несимметрии напряжения;

ΔP_{T2} - потери активной мощности в трансформаторе с улучшенными показателями несимметрии напряжения.

Потери активной мощности в трансформаторе от несимметрии напряжения определяется следующим образом:

$$\Delta P_{T1} = 3I_{21}^2 r_{21} + 3I_{01}^2 r_{01}, \quad (3)$$

где I_{21}, I_{01} - токи обратной и соответственно нулевой последовательности трансформатора;

r_{21}, r_{01} - активные сопротивления обратной и соответственно нулевой последовательности трансформатора.

Преобразуем это выражение:

$$\Delta P_{T1} = 3 \frac{U_{21}^2}{Z_{21}^2} r_{21} + 3 \frac{U_{01}^2}{Z_{01}^2} r_{01}, \quad (4)$$

где Z_{21}, Z_{01} полные сопротивления обратной и нулевой последовательности трансформатора.

Разделив и умножив слагаемые на квадрат напряжения прямой последовательности $(U_1)^2$ получим:

$$\Delta P_{T1} = 3 \frac{U_{21}^2 U_1^2}{Z_{21}^2 U_1^2} r_{21} + 3 \frac{U_{01}^2 U_1^2}{U_1^2 Z_{01}^2} r_{01}. \quad (5)$$

Так как $\frac{U_{21}}{U_1} = K_{2U}$ и $\frac{U_{01}}{U_1} = K_{0U}$,
то

$$\Delta P_{T1} = 3K_{2U}^2 U_1^2 \frac{r_{21}}{Z_{21}^2} + 3K_{0U}^2 U_1^2 \frac{r_{01}}{Z_{01}^2}, \quad (6)$$

Учитывая, что $Z_2 = Z_K$, $r_2 = r_K$, $Z_{2*} = U_K \%$ и после преобразования получим следующую формулу:

$$\Delta P_{T1} = \frac{3K_{2U}^2 U_1^2 r_{21} I_{H1}^2}{U_{K1}^2 U_H^2} 100^2 + 3K_{0U}^2 U_1^2 \frac{r_{01}}{Z_{01}^2}, \quad (7)$$

или окончательно

$$\Delta P_{T1} = 3K_{2U}^2 \frac{\Delta P_{K1} U_1^2}{U_{K1}^2 U_H^2} 100^2 + 3K_{0U}^2 U_1^2 \frac{r_{01}}{Z_{01}^2}. \quad (8)$$

Аналогично определяются потери активной мощности в трансформаторе при ухудшенных показателях несимметрии напряжения.

Учитывая, что у трансформаторов напряжение и потери короткого замыкания одинаковы, а также трансформаторы не оказывают влияния на коэффициент несимметрии напряжения по обратной последовательности трансформатора, при определении снижения потерь мощности по формуле (2), первые слагаемые сокращаются. В результате выражение для определения снижения потерь мощности в трансформаторе получим в следующем виде:

$$\Delta P_T = 3U_1^2 \frac{r_{01}}{Z_{01}^2} (K_{0U1}^2 - K_{0U2}^2), \quad (9)$$

где K_{0U1} - коэффициент несимметрии напряжения по нулевой последовательности на выводах трансформатора;

K_{0U2} - коэффициент несимметрии напряжения по нулевой последовательности на вводах трансформатора при улучшенных показателях несимметрии напряжения.

Снижение потерь мощности в линии определяется по формуле:

$$\Delta P_L = (3I_{21}^2 r_{2L1} + 3I_{01}^2 r_{0L1}) - (3I_{22}^2 r_{2L2} + 3I_{02}^2 r_{0L2}), \quad (10)$$

где I_{21} , I_{01} - токи обратной и нулевой последовательности для линии при несимметричном напряжении,

I_{22} , I_{02} - токи обратной и нулевой последовательности для линии при улучшенных показателях несимметрии напряжения,

$r_{2Л1}, r_{0Л1}$ – активные сопротивления обратной и нулевой последовательности линии при несимметричном напряжении,

$r_{2Л2}, r_{0Л2}$ – активные сопротивления обратной и нулевой последовательности линии при улучшенных показателях несимметрии напряжения.

Так как трансформаторы не влияют на напряжение обратной последовательности, то есть $r_{21}=r_{22}$ и $I_{21}=I_{22}$, получим

$$\Delta P_{Л} = 3(I_{01}^2 r_{0Л1} - 3I_{02}^2 r_{0Л2}) \quad (11)$$

Преобразуем данное выражение

$$\Delta P_{Л} = 3\left(\frac{U_{01}^2}{Z_{01}^2} r_{0Л1} - \frac{U_{02}^2}{Z_{02}^2} r_{0Л2} \right). \quad (12)$$

Разделив и умножив вторую часть выражения на U_1^2 , получим:

$$\Delta P_{Л} = 3\left(\frac{U_{01}^2 U_1^2}{U_1^2 Z_{01}^2} r_{0Л1} - \frac{U_{02}^2 U_1^2}{U_1^2 Z_{02}^2} r_{0Л2} \right). \quad (13)$$

Так как $\frac{U_0}{U_1} = K_{0U}$, то

$$\Delta P_{Л} = 3U_1^2 \left(K_{0U1}^2 \frac{r_{0Л1}}{Z_{0Л1}^2} - K_{0U2}^2 \frac{r_{0Л2}}{Z_{0Л2}^2} \right). \quad (14)$$

В связи с тем, что трансформаторы не оказывают влияние на активное и полное сопротивление линии, то $r_{0Л1}=r_{0Л2}$ и $Z_{0Л1}=Z_{0Л2}$.

Тогда

$$\Delta P_{Л} = 3U_1^2 \frac{r_{0Л}}{Z_{0Л}^2} (K_{0U1}^2 - K_{0U2}^2), \quad (15)$$

где K_{0U1} – коэффициент несимметрии напряжения по нулевой последовательности линии при несимметрии напряжения;

K_{0U2} – коэффициент несимметрии напряжения по нулевой последовательности линии при улучшенных показателях несимметрии напряжения;

$r_{0Л}$ – активное сопротивление нулевой последовательности линии;

$Z_{0Л}$ – полное сопротивление нулевой последовательности линии.

Определив по формулам (9) и (15) при соответствующем режиме $\Delta P_T, \Delta P_{Л}$, и полученные их значения подставив в формулу (1) получим экономию электрической энергии в сети.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ГАСИТЕЛЕЙ ПЛЯСКИ ПРОВОДОВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫМ ЭКСПЕРИМЕНТОМ

Сергей И.И., Климкович П.И. (БНТУ) г. Минск

Серьезной проблемой эксплуатации воздушных ЛЭП являются колебания

проводов. Наиболее распространенным видом колебаний, приводящим к серьезным нарушениям механической части ВЛ, является пляска проводов [1]. Значительный ущерб от пляски проводов инициировал работы по ограничению ее амплитуд с помощью различных методов. Несмотря на выполненный большой комплекс исследований и положительный опыт применения различных типов гасителей [1], отсутствует универсальный метод для предотвращения пляски проводов. Поэтому в этой области требуются как теоретические, так и практические работы по оценке эффективности устройств подавления пляски.

В настоящее время наиболее перспективными являются комбинированные гасители колебаний TDD, разработанные в Льежском техническом университете (ЛТУ) [2]. Под эгидой ИНТАС для оценки эффективности TDD выполняются комплексные исследования: полевые наблюдения, полномасштабные эксперименты, вычислительный эксперимент и др. С 1998 года в Казахском НИИЭ проводятся полномасштабные экспериментальные исследования пляски РФ 2хАС-400/51 в пролете 292 м и оценка эффективности TDD, результаты которых сопоставляются с компьютерными расчетами и литературными данными. В докладе излагаются результаты вычислительного эксперимента в БНТУ по оценке эффективности гасителей пляски TDD.

В БНТУ разработаны два численных метода расчета пляски расщепленной фазы (РФ) [3]. Один из них базируется на полной расчетной модели фазы в виде пучка гибких нитей, зафиксированных на заданном расстоянии в нескольких точках пролета жесткими стержнями – распорками. Такая модель наиболее точно учитывает геометрические и физико-механические характеристики РФ в целом, что подтверждается хорошим совпадением результатов компьютерного расчета с расчетами других авторов [3]. Однако при длительном счете по этому алгоритму возникают паразитные колебания, могущие исказить результаты расчетов при малом шаге интегрирования по времени, который обусловлен условием устойчивости решения уравнений движения распорок.

Стабильные результаты дает метод моделирования РФ эквивалентным проводом, осью которого является линия центров масс поперечных сечений фазы [3]. Физико-механические параметры эквивалентного провода определяются параметрами составляющих фазу проводов.

При численном моделировании указанной задачи использовались аэродинамические характеристики для проводов сечением 240 мм^2 , заимствованные в [4]. Выполнено сравнение расчетных и опытных результатов,

полученных КазНИИЭ (рис. 1 и 2, табл. 1). Исползованы опытные данные пляски без гасителей и с гасителями колебаний, установленными в 1/3 и 2/3 частях пролета, вес гасителей составляет 30 кг [5].

Таблица 1. Сопоставление расчетных и опытных данных при $V = 10$ м/с

	Расчет				Опыт		Расхождение	
	A_{m-m} , м	θ_{m-m} , град	f_v , Гц	f_θ , Гц	A_{m-m} , м	θ_{m-m} , град	ΔA_{m-m} , %	$\Delta \theta_{m-m}$, %
без гасителя	1,2	28	0,325	0,325	1,2	30	0,0	≈6,7
с гасителями	≈0,08	8	0,25	0,25	0,09	10	11,1	20,0

Таким образом, строгая математическая постановка задачи расчета пляски проводов с учетом комбинированных гасителей пляски TDD позволяет приблизить вычислительный эксперимент к условиям реальной пляски и опытов на воздушных ЛЭП, что подтверждается согласованием компьютерных расчетов с опытом. Проведенный вычислительный эксперимент подтвердил эффективность гасителей пляски TDD в ограничении амплитуд однополуволновой пляски. Результаты численной оценки и наблюдений согласуются друг с другом.

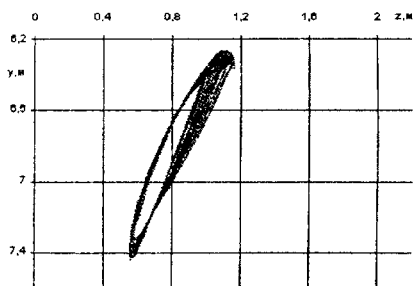


Рисунок 1. Траектория движения средней точки фазы в средней точке пролета при $\theta_0 = 10^\circ$ и $V = 10$ м/с

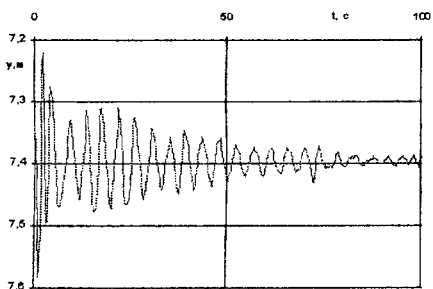


Рисунок 2. Вертикальные колебания фазы в средней точке пролета при установке двух гасителей в 1/3 и 2/3 частях пролета

Литература

1. Wang I., Lilien J.L. Overhead electrical transmission line galloping. A full multi-Span – 3–DOF – Model, some Application and design recommendations // IEEE Transactions on power Delivery. – Vol. 13, № 3. – 1998. – P. 909–916.
2. Lilien J.L., Heuntgen R. A new damper to solve galloping on bundled lines.

Theoretical background, laboratory and field results. – IEEE Summer meeting, July, 20–24, 1997. Berlin, Germany.

3. Сергей И.И., Климкович П.И. Два подхода к расчету пляски расщепленных фаз воздушных ЛЭП // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2005. – № 1. – С. 15–23.

4. Yamaoka M. A Numerical Calculation Method for Galloping Oscillation of a Bundle Conductor Transmission Line // Trans. IEE Japan. – 1979. – B99, № 9. – P. 569–576.

5. Final Report on Tests of TDD Antigalloping Device. – Scientific-industrial Company Electrosetjstroyproject (ESSP). – Almaty–Moscow, 1998.

РАСЧЕТ МАКСИМАЛЬНЫХ ТЯЖЕНИЙ ГИБКИХ ШИН РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ПРИ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЯХ

Сергей И.И., Андрукевич А.П., Пономаренко Е.Г. (БНТУ) г. Минск

В процессе короткого замыкания в гибких шинах распределительных устройств возникают значительные тяжения, которые передаются на опорные конструкции и аппараты электроустановок, вызывая в них большие механические усилия. При этом деформации опорных конструкций и аппаратов при максимальных значениях тяжений могут достигать критического значения, после которого происходит нарушение электродинамической стойкости пролета. Для оценки тяжести воздействия токов короткого замыкания на конструкции распределительных устройств рассчитываются такие параметры электродинамической стойкости как максимальные тяжения проводов.

В осциллограмме тяжения провода при и после короткого замыкания выделяются два характерных максимума. Один из них наступает в момент времени, когда провода при их отталкивании подвергаются максимальному растяжению под действием электродинамических усилий $T_{2\max}$. После отключения короткого замыкания в момент сближения проводов появляется еще один максимум тяжения, так называемый третий максимум $T_{3\max}$, который имеет значительную величину.

В статье излагается упрощенный метод расчета максимальных тяжений в гибких шинах распределительных устройств, основанный на представлении провода физическим маятником и составленных для него формулах

энергетического баланса во время и после короткого замыкания.

Характерный максимум $T_{2\max}$ рассчитывается исходя из предположения, что при движении провода часть его кинетической энергии E_k преобразуется в энергию упругих деформаций проводов и опор E_y . Выражение для вычисления $T_{2\max}$ получено в [1]

$$T_{2\max} = \sqrt{T_0^2 + 0,3 \cdot K_{\text{оп}} \frac{EA}{(IK_{\text{оп}} + EA)} \cdot \frac{(k_n S^{(2)})^2}{\rho l}}, \quad (1)$$

где E – модуль упругости материала провода, Н/м²;

A – поперечное сечение провода, мм²;

$K_{\text{оп}}$ – коэффициент жесткости опоры, Н/м;

l – длина пролета, м;

ρ – приведенная масса единицы провода, кг;

T_0 – начальное тяжение провода, Н;

$S^{(2)}$ – импульс электродинамических усилий двухфазного короткого замыкания, Н·с.

Коэффициент k_n определяется с помощью вычислительного эксперимента и вводится для учета той части кинетической энергии провода, которая расходуется на его упругие деформации. $k_n = 2/3$.

$T_{3\max}$ называется максимальным тяжением проводов при их падении и возникает когда вся накопленная токоведущими конструкциями потенциальная энергия при и после короткого замыкания $E_{\text{пmax}}$ преобразуется в энергию упругих деформаций проводов и опор E_y . Величина наибольшей потенциальной энергии провода имеет место при максимальном угле отклонения его плоскости, равном 180°, когда $h + h_k = 2f_0$ [2], где h и h_k – соответственно высоты подъема средней точки провода после отключения и в момент отключения короткого замыкания.

Выражение для определения $T_{3\max}$ получено в [1]

$$T_{3\max} = \sqrt{T_0^2 + 13,1 \cdot \rho l K_{\text{оп}} \frac{EA}{(IK_{\text{оп}} + EA)} (h + h_k)}. \quad (2)$$

Для подтверждения достоверности выражений (1) и (2) проводились расчеты характерных максимумов тяжений для опытного пролета [1]. Результаты расчетов сравнивались с опытными данными и с результатами

расчетов по компьютерной программе BusEF, разработанной на кафедре «Электрические станции», которая позволяет получить точные численные решения уравнений динамики проводов при КЗ. Расчет показал, что погрешность при расчетах второго максимума тяжений $T_{2\max}$ не превышает 30%, что является допустимой погрешностью для упрощенных методов расчета динамики проводов при КЗ. Чтобы повысить точность расчетов $T_{3\max}$ вводится

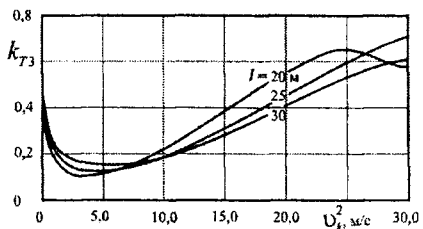


Рисунок 1 – Уточняющие коэффициенты для провода АС-185/29

поправочный коэффициент k_{T3} .

В результате работы были получены модифицированные формулы для определения максимальных тяжений, возникающих в проводах на двух стадиях их движения в режиме короткого замыкания. Проведенные сравнительные расчеты показали, что

упрощенная методика, разработанная на кафедре «Электрические станции», дает хорошие результаты, которые подтверждаются опытными данными и точными численными расчетами.

Литература

1. 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 энергообъед. СНГ). – 2006. – № 6.
2. Сергей И.И., Пономаренко Е.Г., Саммур Ваиль Махмуд Упрощенный метод расчета сближения проводов с учетом конструктивных элементов распределительных устройств при двухфазном коротком замыкании. – // Энергетика ... (Изв. высш. учеб. заведений и энергообъед. СНГ). – 2004. – № 2.

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ СИЛОВЫХ МАСЛЯНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ В СЕЛЬСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

А.П. Сердешнов, Г.Г. Усов (БГАТУ) Минск

В настоящее время в Белорусской энергосистеме находится в эксплуатации почти 69 тысяч трансформаторных подстанций и распределительных пунктов

напряжением 6 – 10/0,4 кВ общей установленной мощностью 13860 МВА. Установлено, что подавляющее большинство, а это 75% составляют комплектные трансформаторные подстанции производства Минского электроремонтного завода им. В.И. Козлова. На них установлены в основном масляные двухобмоточные трансформаторы [1].

В ближайшие годы около 70% электросетевого оборудования, имеющегося в энергосистемах Республики Беларусь, отработает свой нормативный срок службы [1]. Большинство подстанций построено в 1960-1980 гг, физический износ достиг 65...70%. Это касается и силовых масляных трансформаторов с высшим напряжением 6-10 кВ мощностью до 630 кВА [2].

При выходе из строя силовых трансформаторов в сельских электрических сетях потребителям наносится значительный урон, как за счет недоотпуска электроэнергии, так и вследствие порчи сельскохозяйственной продукции. Значителен также срок устранения отказов.

Проведенные исследования условий эксплуатации трансформаторов сельских ТП показали несоответствие норм эксплуатации, во многих случаях.

Проанализировав повреждения трансформаторов поступившие на ремонтный завод «Белэнергоремналадка» (г. Минск) выяснилось, что часто встречающейся причиной отказов трансформаторов является пробой изоляции обмоток [4]. В свою очередь причины пробоев объясняются увлажнением, и связанным с этим ускоренным старением изоляции обмоток. Обслуживающий персонал эффективно не может влиять на уменьшение числа повреждений связанных с увлажнением изоляции наиболее многочисленной группы трансформаторов.

Чтобы повысить надежность электроснабжения сельскохозяйственных потребителей требуется совершенствовать методы эксплуатации силовых масляных трансформаторов I-II габаритов сельских ТП, что будет способствовать комплексному устранению многих негативных последствий в трансформаторах.

Главные компоненты изоляции силовых трансформаторов – трансформаторное масло и бумажная изоляция. Одна из причин увлажнения сухой волокнистой изоляции, погруженной в масло, происходит в результате увлажнения масла, которое соприкасается с окружающим воздухом, содержащим влагу. Количество поглощенной воды в масле заметно изменяется в зависимости от температуры (таблица 1) [3]. По этой причине на

электроремонтный завод г. Минска поступило 80% трансформаторов от общего числа отказавших [4].

Таблица 1 – Количество поглощенной воды в масле в зависимости от температуры

Температура масла, °С	12	20	30	40	50	60	80
Количество поглощенной воды, %	0,003	0,0044	0,0067	0,0101	0,0149	0,0213	0,0412

Причины пробоев объясняются, в основном, переувлажнением и связанным с этим ускоренным старением изоляции обмоток. Причем чем выше содержание влаги, тем интенсивнее идет процесс старения. И если при содержании влаги в твердой 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 [4].

Контроль изоляции трансформаторов, находящихся в эксплуатации на сельских потребительских подстанциях, осуществляется традиционными методами: измерением ее параметров (сопротивления, тангенса угла диэлектрических потерь и др.) и испытанием трансформаторного масла в объеме, установленном ПТЭ.

Анализ результатов собранного материала позволяет сделать заключение, что в силовых трансформаторах сельских ТП происходит систематическое ухудшение состояния изоляции и многие из них подходят к критическому сроку эксплуатации или уже находятся в нем. При этом все они могут быть поделены на две основные группы:

- трансформаторы, в которых нет развития повреждения (они составляют большинство);
- трансформаторы, в которых есть основания предполагать наличие развивающегося повреждения (их число, в среднем, составляет около 20-23%).

Проведенные замеры параметров изоляции силовых масляных трансформаторов данной группы дают возможность считать, что, как правило, развития в них повреждений связано в первую очередь с повышением содержания влаги в твердой изоляции [4]. Эксплуатационная надежность масляных трансформаторов напряжением 10 кВ может быть повышена путем проведения профилактической сушки увлажненных обмоток твердой изоляции.

При производстве и монтаже трансформаторов сушка является важнейшим техническим процессом. Она имеет целью удаления влаги из твердой изоляции

трансформаторов, состоящей в основном из важнейших материалов (картон, бумага), для обеспечения более высокой электрической прочности изделия. Для высушенного и пропитанного трансформаторным маслом электрокартона толщиной 2 мм необходимо пробивное напряжение переменного тока порядка 80 кВ. Если картон полностью высушен, т.е. содержание влаги в нем равно нулю, но он не пропитан маслом, его пробивное напряжение ниже чем пропитанного, в три раза и составляет около 24 кВ.

В настоящее время разработано немало способов сушки твердой изоляции активной части силовых трансформаторов. Каждый из них имеет свои достоинства и недостатки. Наибольшее применение в сельской электрификации получили: потерями короткого замыкания, потерями в собственном баке, потерями от токов нулевой последовательности.

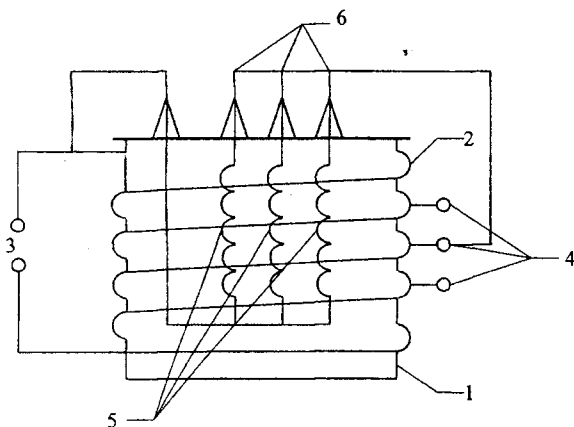


Рисунок 1 – Схема сушки изоляции силовых масляных трансформатора комбинированным методом:

1 – бак трансформатора; 2 - намагничивающая обмотка; 3 - источника стандартного напряжения переменного тока; 4 – отпайки; 5 - обмотки трансформатора; 6 - выводы обмоток трансформатора.

В Белорусском государственном аграрном техническом университете разработан новый метод сушки твердой изоляции силовых масляных трансформаторов [5]. Он является удачной комбинацией всех трех наиболее используемых в производстве методов. Данный метод соединяет положительные стороны наиболее используемых методов удаления влаги из твердой изоляции

трансформаторов. Предлагается использовать комбинированный метод сушки изоляции силовых масляных трансформаторов. При котором на бак трансформатора наматывается намагничивающая обмотка, питающаяся от источника стандартного напряжения переменного тока, от отпайки необходимое нестандартное напряжение подается на одну из обмоток трансформатора, включенных по схеме нулевой последовательности, через выводы обмоток трансформатора.

Комбинированный метод дает возможность получить высококачественную сушку, значительно сократив время сушки, расход электроэнергии, исключить необходимость в дополнительных устройствах питания с нестандартным напряжением. Может применяться на месте установки трансформатора, в мелких ремонтных мастерских, и на электротехнических заводах при изготовлении трансформаторов.

Выводы

Для повышения эксплуатационной надежности силовых масляных трансформаторов в сельских электрических сетях необходимо создать научно обоснованную систему технического обслуживания и текущего ремонта, для предотвращения выхода из строя трансформаторов. При этом необходимо учитывать две основные оценивающие группы параметров трансформаторов:

- выявлять трансформаторы с возможными дефектами, которые необходимо взять под усиленный (расширенный) контроль;
- своевременно выводить трансформаторы из работы для устранения дефектов.

С помощью эффективной системы контроля трансформаторов и проведения эффективной профилактической сушки твердой изоляции комбинированным методом, в жестко установленные сроки, можно перейти на более экономическое обслуживание по фактическому состоянию и существенно повысить надежность работы силовых масляных трансформаторов в сельских ТП, обеспечив возможность продолжения эксплуатации трансформаторов, срок службы которых на сегодня близок к нормативному или превышает его.

Литература

1. Концепция развития электрических сетей. – Мн., 2001.
2. М.А. Короткевич. Основные направления совершенствования эксплуатации электрических сетей. – Мн.: ЗАО Техноперспектива, 2003.

3. Л.М. Рыбаков. Увлажнение и старение изоляции силовых трансформаторов сельских распределительных сетей // МЭСХ – 1975. -№12.
4. А.П. Сердешнов., Г.Г. Усов. Сушка твердой изоляции силовых трансформаторов комбинированным методом // Агропанорама. – 2000. -№6.
5. Патент 2156 РБ. Способ удаления влаги из твердой изоляции трансформаторов / А.П. Сердешнов., Г.Г. Усов и др. -№2 (17). – С. 14.

НИЗКОВОЛЬТНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ С КОМБИНИРОВАННЫМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕМ

Сердешнов А.П., Янукович Г.И. (БГАТУ) г. Минск

В настоящее время отходящие линии низковольтных электрических сетей выполняются только в трехфазном исполнении. Причиной этого является то, что электроснабжение потребителей в этих сетях, как правило, осуществляется от подстанций с трансформаторами имеющих схему соединения обмоток «звезда-звезда-нуль» (Y/Yn). Они же крайне чувствительны к несимметрии нагрузки. Так, например, при неравномерной нагрузке фаз у них имеет место смещение нулевой точки, обуславливающей резкое искажение системы фазных напряжений. Указанное, в свою очередь, часто создает отклонение этих напряжений (ΔU), уже на низковольтных вводах трансформатора выше значений допустимых ГОСТ на качество электрической энергии [1]. Как известно, в конце линий ΔU значительно выше. Так, по данным проведенных нами исследований вместо положенных $\pm 5\%$ эта величина может достигать, при среднестатистической несимметрии нагрузки на фидере, до 12-14%, при глубокой (отсутствие нагрузки на одной или двух фазах) до 25-30%. Кроме того, резко возрастают потери электрической энергии в сети, ухудшаются условия обеспечения техники безопасности и многие другие показатели.

Вместе с тем, к настоящему времени коллективом ученых кафедры электроснабжения в сельском хозяйстве Белорусского государственного аграрного технического университета (проф. Янукович Г.И., доценты Шевчик Н.Е. и Протосовицкий И.В.), под руководством профессора Сердешнова А.П. разработана новая схема соединения обмоток трансформатора «звезда-звезда-нуль» с симметрирующим устройством (Y/YnCY) [2, 3]. Она включает в себя дополнительные компенсирующие витки, которые в виде бандажа укладываются поверх обмоток высшего напряжения. Такой трансформатор полностью снимает проблему искажения фазных напряжений при

несимметричной нагрузке фаз и кроме того улучшает многие другие характеристики, в первую очередь снижает потери электроэнергии [4].

Внедрение разработки на Минском электротехническом заводе им. В.И. Козлова позволило к настоящему времени установить в сельских электрических сетях Республики Беларусь более тысячи трансформаторов Y/Y_nSU . Десятки из них уже проработали почти двадцать лет. Они зарекомендовали себя надежными и экономичными аппаратами, способными при неравномерной нагрузке фаз обеспечивать высокое качество напряжения [5].

Дальнейший анализ работы трансформаторов Y/Y_nSU в сельских низковольтных четырехпроводных электрических сетях позволил выдвинуть ряд гипотез по более полному использованию их положительных свойств.

В первую очередь это относится к целесообразности перехода от полнофазных отходящих линий сельских ТП и КТП к смешенной системе электроснабжения потребителей с количеством фазных проводов в каждой линии, отвечающем требованиям нагрузки, а не симметрии ее распределения. Действительно, сечения проводов электрических линий в сельских населенных пунктах пока, как правило, определяется не величиной нагрузок, а необходимостью обеспечения механической прочности линий электропередачи. По этому часто вместо трех фазных проводов в линии достаточно двух, а не редко и одного фазного провода. При этом, расчеты показывают, что в конце даже у протяженных линий отклонения напряжений вполне отвечает норме ГОСТ. Расчеты расхода проводов, для конкретных сел позволяют сделать заключение о том, что при предлагаемой смешенной системе электроснабжения можно получить их экономию более, чем на 50%. Сокращение количества проводов в линии дает возможность сократить крепежный материал и облегчает нагрузку на опоры. Последнее создает условия для пересмотра конструкций опор (особенно сложных) с целью экономии материалов, а также определения рационального расстояния между ними. Все изложенное авторами защищено патентом Республики Беларусь.

Стабилизация нулевой точки фазных напряжений трансформаторов Y/Y_nSU при неравномерной нагрузке в электрической сети, в частности со смешанным электроснабжением, должна устранить все основные причины появления потенциала между заземленными частями токоприемников и также заземленных нулевых проводов в линиях. Такое явление позволяет поставить

под сомнение целесообразность построения усложненных конструкций заземлений в сельских производственных помещениях, например для выравнивания потенциалов. Такие сооружения в прямом смысле вгоняют в землю дорогостоящие материалы и государственные средства.

Однако приведенная гипотеза для полной ясности требует не только теоретических, но и всесторонних экспериментальных исследований.

По нашему мнению внедрение в сельских электросетях смещенного электроснабжения потребителей потребует серьезного пересмотра методик проведения расчетов. В том числе определения новых экономических интервалов проводов, расчетов защиты, расчетов повышения напряжения на здоровых фазах линий при однофазных коротких замыканиях и др.

Особый интерес представляют методики расчетов экономических выгод как при строительстве таких сетей так и при их эксплуатации.

Литература

1. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия: Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.- Минск.: Изд-во стандартов.

2. А.с. №1099328 (СССР). «Трехфазный трансформатор» /Сердешнов А.П., Янукович Г.И. и др.// БИ. 1984, №23.

3. Патент № 1685 (РБ) «Трехфазный трансформатор» /Сердешнов А.П., Янукович Г.И., Шевчик Н.Е.// БИ. 1997, №2 (13).

4. Определение экономической эффективности внедрения трансформаторов 10/0,4 кВ со схемой соединения обмоток Y/Yn с симметрирующим устройством. Отчет /Белорусский научно-исследовательский и проектно-изыскательский энергетический институт «Белэнергопроект»; руководитель Я.Х. Кирзнер.- Инв.15190.- Мн., 1995.-32 с.

5. Бородин И.Ф., Сердешнов А.П. Потери электроэнергии в сельских сетях и пути их снижения. //Техника в сельском хозяйстве.- 2002.- №1

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ТЕПЛОУТИЛИЗАТОРОВ ОВС ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ

Синяков А.Л., Цубанов И.А. (БГАТУ) Минск

Для снижения затрат тепловой энергии на создание микроклимата в ОВС животноводческих помещений, характеризующихся большими тепло-влажностными выделениями, применяют теплоутилизаторы, обеспечивающие

подогрев холодного приточного воздуха теплотой воздуха, удаляемого из помещений.

В зависимости от назначения помещения применение утилизаторов позволяет сократить затраты тепловой энергии на создание микроклимата на 40 – 80 %.

Эффективность работы теплоутилизаторов зависит не только от температурного напора, площади теплообменной поверхности, скоростей движения теплоносителей, но и от чистоты теплообменной поверхности, на которой в процессе эксплуатации откладываются пыль, перо и другие взвешенные частицы, находящиеся в воздушной среде помещения.

Кроме того, при охлаждении вытяжного воздуха образуется конденсат, который при низких температурах приточного воздуха, движущегося через теплоутилизатор, превращается в слой снега-льда. В результате этих явлений резко уменьшается коэффициент теплопередачи теплоутилизатора, а, следовательно, и его тепловая мощность.

Предотвратить образование слоя снега-льда достаточно трудно. Сушность известного предложенного способа состоит в том, что предотвращают образование слоя снега-льда за счет того, что скорость теплого воздуха в каналах теплообменника в 1,5...2 раза больше скорости холодного воздуха.

Недостатками этого способа являются:

- уменьшение коэффициента теплопередачи;
- увеличение гидравлического сопротивления каналов теплого воздуха в 2...4 раза, что приводит к необходимости завышения мощности электродвигателя вытяжного вентилятора.

В ряде ОВС используются пластинчатые теплоутилизаторы, теплообменная поверхность которых выполнена из листов оцинкованной стали. К недостаткам этих утилизаторов следует отнести сложность очистки теплообменной поверхности от загрязнений и большая металлоемкость.

Отмеченные недостатки частично отсутствуют у теплоутилизатора, разработанного БАТУ. Разработанный утилизатор содержит корпус, в котором расположены верхняя и нижняя трубные доски и пучок стеклянных труб, концы которых закреплены в упомянутых досках.

Работает теплоутилизатор следующим образом: по трубам движется сверху вниз теплый воздух, а по межтрубному пространству – холодный.

Достоинствами такого теплоутилизатора являются: простота очистки внутренних поверхностей труб от загрязнений; малая металлоемкость; большой срок службы.

Для уменьшения влияния слоя снега-льда на тепловую мощность теплоутилизатора предложено теплоутилизатор оборудовать третьей трубной доской, которая располагается между верхней и нижней основными трубными досками, при этом одна часть холодного воздуха проходит через верхнее межтрубное пространство между верхней и дополнительной трубными досками в направлении слева-направо, а другая часть – через нижнее межтрубное пространство в направлении справа-налево.

Этим достигается большая равномерность охлаждения вытяжного воздуха каждым рядом теплопередающих трубок.

Повышение эффективности работы теплоутилизатора достигается тем, что уменьшается поступление конденсата из верхних частей теплопередающих труб в нижние в условиях выравнивания температурного напора по отдельным трубкам.

УЧЕТ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ НАПРЯЖЕНИЕМ 0,38 кВ

Счастный В.П., Зеленкевич А.И., Михайлова Е.В., Кирко Ю.В. (БГАТУ)
г. Минск

В 2000 году на Барановичской бройлерной птицефабрике “Дружба” при выполнении исследований режимов работы электрооборудования птичника на 20 тыс. бройлеров [1] было выявлено некоторое расхождение между расчетными и фактическими потерями в ВЛ 0,38 кВ на территории предприятия.

Одним из основных факторов влияющих на разницу между расчетными и фактическими потерями в ВЛ 0,38 кВ, если исключить наличие погрешности приборов учета и хищения электроэнергии, мы видим то, что не учитываются климатические условия (температура окружающего воздуха, скорость ветра) и ток нагрузки, протекающей по проводу.

Чаще всего при определении потерь энергии удельные активные сопротивления проводов принимаются по справочникам, в которых они приведены для температуры + 20 °С. Изредка сопротивления пересчитывают с учетом сопротивления воздуха.

Удельное активное сопротивление провода ВЛ определяют по формуле [2]:

$$R = R_{20^{\circ}\text{C}} \left(1 + \alpha (t_{\text{пр}} - 20^{\circ}\text{C}) \right)$$

где $R_{20^{\circ}\text{C}}$ – удельное сопротивление при температуре провода $+ 20^{\circ}\text{C}$, Ом/км;

α – температурный коэффициент электрического сопротивления (для сталеалюминиевого провода $\alpha = 0,004$);

$t_{\text{пр}}$ – температура провода, $^{\circ}\text{C}$.

Температура провода зависит от нескольких факторов, но в большей мере от температуры окружающего воздуха, скорости ветра, тока протекающего по проводу.

Уравнение теплового баланса провода, с учетом ряда допущение, можно записать в виде

$$I^2 \cdot R = (C_{\text{л}} + C_{\text{к}}) \cdot 10 \cdot \pi \cdot d \cdot (t_{\text{пр}} - t_{\text{в}})$$

где I – ток протекающий по проводнику, А;

$C_{\text{л}}$ – коэффициент теплоотдачи излучением, Вт/(см 2 · $^{\circ}\text{C}$);

$C_{\text{к}}$ – коэффициент теплоотдачи конвекцией, Вт/(см 2 · $^{\circ}\text{C}$);

d – диаметр провода, мм;

$t_{\text{в}}$ – температура окружающего воздуха, $^{\circ}\text{C}$.

Коэффициент теплоотдачи излучением определяется по формуле [2]

$$C_{\text{л}} = 2,8(100 + 0,6t_{\text{пр}}) \cdot 10^{-6}$$

Коэффициент теплоотдачи конвекцией определяется по формуле [2]

$$C_{\text{к}} = 9 \sqrt{\frac{P_{\text{атм}} \cdot V}{d}} \cdot 10^{-3}$$

где $P_{\text{атм}}$ – атмосферное давление.

V – скорость ветра, м/с.

Учитывая все изложенное выше, удельное активное сопротивление будет равно

$$R = R_{20^{\circ}\text{C}} \left(1 + 0,004 \cdot \left(-83,33 + 0,5t_{\text{в}} - 26783,57 \sqrt{\frac{V}{d}} + \frac{0,12 \cdot R_{20^{\circ}\text{C}} \cdot I^2}{\pi \cdot d} \right) \pm \sqrt{\left(-83,33 + 0,5t_{\text{в}} - 26783,57 \sqrt{\frac{V}{d}} + \frac{0,12 \cdot R_{20^{\circ}\text{C}} \cdot I^2}{\pi \cdot d} \right)^2 + \left(166,67 + 5357,14 \sqrt{\frac{V}{d}} \cdot t_{\text{в}} + \frac{54,76 \cdot R_{20^{\circ}\text{C}} \cdot I^2}{\pi \cdot d} \right)} \right)$$

Для ВЛ 0,38 кВ зависимость температуры провода от температуры воздуха и тока нагрузки имеет вид

$$t_{np} = (-1684,1 + 0,5t_a - 400 \cdot 10^{-5} \cdot I^2) \pm \sqrt{(-1684,1 + 0,5t_a - 400 \cdot 10^{-5} \cdot I^2)^2 + 3368,2 \cdot t_a + 1,8 \cdot I^2}$$

Зависимость удельного активного сопротивления провода ВЛ 0,38 кВ от тока нагрузки для различных температур наружного воздуха (-30 °С, 0 °С, +30 °С) представлена на рисунке 1.

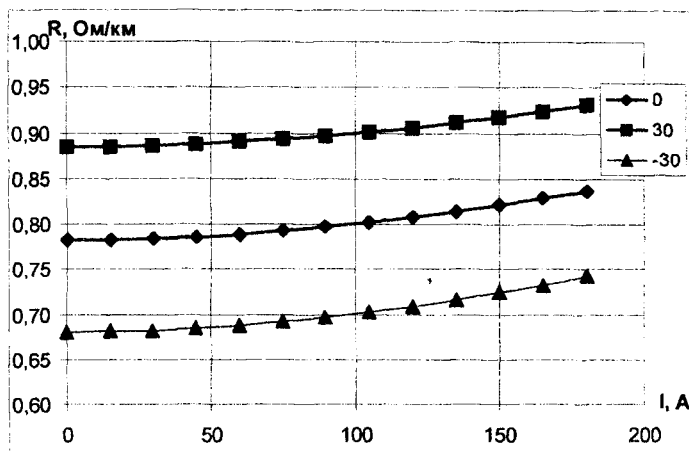


Рисунок 1 – Зависимость удельного активного сопротивления провода АС 35 ВЛ 0,38 кВ от тока нагрузки при различных температурах наружного воздуха

Зависимость погрешности расчетов активного сопротивления определенного с учетом температуры окружающего воздуха и без учета, представлена на рисунке 2.

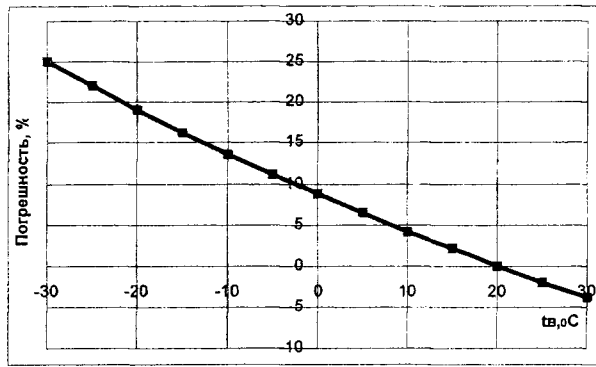


Рисунок 2 – Относительная погрешность расчета удельного активного сопротивления провода АС 35 ВЛ 0,38 кВ определенного с учетом температуры окружающего воздуха

Зависимость погрешности расчетов активного сопротивления определенного с учетом температуры окружающего воздуха от тока нагрузки для различных температур наружного воздуха (-30°C , 0°C , $+30^{\circ}\text{C}$) представлена на рисунке 3.

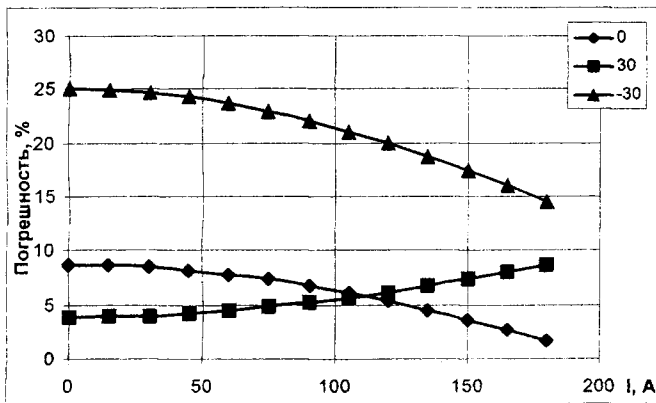


Рисунок 3 – Погрешность расчета удельного активного сопротивления провода АС 35 ВЛ 0,38 кВ от тока нагрузки при различных температурах наружного воздуха

С понижением температуры наружного воздуха и с уменьшением тока нагрузки, протекающего по ВЛ 0,38 кВ, погрешность расчета удельного активного сопротивления увеличивается и может достигать 25 %, что делает расчеты потерь электроэнергии не достоверными.

Литература

1. Счастный В.П., Жуковский А.И., Зеленкевич А.И., Мацко А.В. Оптимизация режимов электрооборудования и систем электроснабжения в сельском хозяйстве // Агропанорама. – 2001. – №3. – с. 24-26.

2. Мельзак И.Я., Мельников Н.А., Роддатис В.К., Шеренцис А.Н. Влияние режима работы и метеорологических условий на активные сопротивления и проводимости линий электропередачи 220-1150 кВ. – «Электричество», 1974, № 6, с. 71-73.

ОБ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ В ОБЛАСТИ ТОПЛИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Терешкова С.Г., Кузьмич В.В. (РУНИП «ИМСХ НАН Беларуси») Минск

Самый тривиальный метод получения энергии – это заимствование тепла от сгорающего топлива. Процесс же горения есть химическая реакция, протекающая с выделением огромного количества тепла и часто сопровождающаяся ярким свечением. Наиболее распространенные виды топлив – углеводородные продукты органического происхождения.

Еще в 1881 г. было обнаружено, что горение сопровождается детонациями, природа которых и сегодня не совсем ясна, особенно для процессов медленного окисления. Да и сам механизм горения – еще не совсем понятная деталь этого явления. К примеру, откуда берется сажа? До сих пор нет способа расчета ее количества для разных видов топлив, коэффициента избытка воздуха, геометрии пламени и т.д. Почему в дымовых газах преобладает содержание смертельно опасного угарного газа, а не углекислого? Экспериментально установлены постоянство скорости окисления топлив вплоть до больших глубин выгорания и продолжение выделения тепла после окончания основной реакции. Как это объяснить? Множество до сих пор не имеющих ответа вопросов сопровождает и реакцию окисления кислородом самого угарного газа. Реакция носит колебательный характер, выражающийся в периодическом скачкообразном уменьшении и увеличении в реакционном пространстве давления, температуры, количеств

юмежуточных и конечных продуктов, появлении и исчезновении световых вспышек и т.д. Позже выяснилось, что это же характерно и для реакций горения веществ в жидкой раскаленной среде.

Далее. Обнаружены явления, которые в физике и сегодня называют градоксальными: когда жидкое углеводородное топливо вдруг из своего зообразного состояния опять переходит в жидкое и затем вновь начинает паряться (некая обратимость процесса). Или было замечено, что выделение тепла и горении жидкого топлива сопровождается не только увеличением его количества, но и на некоторых этапах – уменьшением. А взрывчатые вещества? В жоторых областях их нагрева скорость процесса падает или он вообще танавливается (перхлорат аммония, аммиачная селитра). Иногда не удается в системах взрывообразных превращений обнаружить активные частицы – свободные радикалы, которые, по существующей теории, должны отвечать за взрывы. непонятным представляется уменьшение числа радикалов в системах горения при турбулентности их потоков. Непонятен и факт линейного характера пульсаций при горении. Не совсем ясно и зафиксированное экспериментально обратимое изменение свойств и функций поверхности горения твердых реагентов, стадийность бразования и разряда многовалентных катионов в электродных процессах. непонятно прекращение выделения тока в электрохимических источниках задолго о расходования активных компонентов в их реакционных системах.

Часто обнаруживается ячеистая структура детонаций, а ширина фронта родольной детонационной волны почему-то равна половине диаметра выхода етонации в свободный объем. Экспериментально обнаруживается обратимость еакций в пламени газофазных горелок и при окислении ядерного оксидного орючего, когда пузырьки выделяющегося газа не удаляются в атмосферу, а новь растворяются в матрице, и все начинается сначала. Наблюдается оявление и исчезновение световых вспышек в холодных пламенах. А в 1922 г. друг визуально обнаруживают спирали в реакции окисления СО – так азываемый «детонационный спин». В 1970–1980 гг. спирали фиксируют уже при окислении металлов (спиновое горение) и на их поверхности, и в объеме. Позднее вращательное движение наблюдают в системах с раскаленной жидкой редой. Наконец, винтовые структуры находят в турбулентной литиевой плазме.

Аналогичный ход протекания реакций характерен и для обычных химических процессов, не связанных с горением. Еще в 30-х годах прошлого столетия наблюдали периодическое выделение осадков при испарении застворителей, периодическую адсорбцию на сорбентах, периодически

протекающую коагуляцию в присутствии золь, периодическое высаливание в капиллярах, периодически протекающие кристаллизацию и диффузию. После долгих дискуссий наконец признают существование гомогенных колебательных реакций, которые ранее считались неосуществимыми.

Если принять во внимание весь этот накопившийся в химии научный материал, а также экспериментальные данные и доказательства в собственных исследованиях [1], то можно констатировать, что в химии действует закон – Закон развития химических реакций по спирали, который имеет такое свое звучание: «Развитие химических взаимодействий, состоящих из множества энергетически неравноценных циклов, осуществляется по спирали и включает в себя, помимо преобладающих прямо направленных, частичные обратные или промежуточные поэтапные взаимодействия с обратным или аналогичным характером энергетики». А это, в свою очередь, означает, что буквально все химические процессы являются колебательными взаимодействиями, поэтому и технологии всех химических производств, включая и реакции горения, должны носить импульсный или периодически меняющийся характер.

Интуитивно исследователи к этому уже приходят. Например, обнаружено, что в трубе, резонирующей с частотой 70 Гц, топливо сгорает на 97 %. Значительно повышается к.п.д. тепловых машин при использовании особого рода «кругооборота» продуктов горения в этих системах или условий импульсного сжатия сжигаемого газообразного топлива.

Не вызывает сомнений, что методы применения на практике полученных знаний могут быть самыми разными. Но только обладая ими, можно решить проблему энергоэффективности в области топливных технологий.

Литература

1. Терешкова С.Г. Закон развития химических реакций по спирали. Его фундаментальность и значимость в химии. Мн.: Технопринт, 2004.

СИСТЕМА ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ СИЛОВЫХ МАСЛЯНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ НАПРЯЖЕНИЕМ 10/0,4 кВ

Г.Г. Усов (БГАТУ) Минск

Силовые масляные трансформаторы общего назначения I – II габаритов в сельских электрических сетях составляют наиболее многочисленную группу и являются самыми надежными из всех элементов сети. Однако надежность указанных трансформаторов достигается только при тщательном соблюдении

всех норм правильной организации работы, определенных Правилами технической эксплуатации (ПТЭ) [1] и инструкциями заводов – изготовителей.

Трансформаторы подвергаются большому количеству различных проверок и испытаний на заводе, при монтаже, и в период эксплуатации.

Высокие требования диктуются специфической особенностью сельских сетей и расположением трансформаторных подстанций. Они находятся вдали от организаций занимающихся их эксплуатацией и от специализированных ремонтных предприятий.

Схема сети 10 кВ в основном была сформирована до 1970 года, к сожалению не лучшим образом и на сегодня электрическая сеть этого класса напряжения является слабым звеном в системе электроснабжения потребителей [2].

С учетом фактора существенного износа оборудования эксплуатируемого в энергосистеме, и принимая во внимание, что срок службы уже сегодня близок к нормативному, или даже превышает его, одним из мероприятий, способствующих снижению количества отказов оборудования и повышению надежности его работы является определение фактического износа и оценки состояния оборудования [2].

Выход из строя трансформаторов, наносит экономике значительный урон, как за счет недоотпуска электроэнергии, так и в следствия порчи сельскохозяйственной продукции. Значителен также срок устранения отказов.

В годовом отчете «Белэнерго» за 2005 год в разделе “Технико-экономические показатели” отмечено, что заменено 8955 шт. КТП 10/0,4 кВ.

На замену данной группы трансформаторов ежегодно тратится значительные суммы денежных средств, а традиционно сложившаяся система профилактического контроля, как правило, не позволяет решать задачи надежного электроснабжения, т.к. в основном при ее использовании применяются тестовые методы, в условиях существенно отличающихся от рабочего состояния электрооборудования.

Анализ результатов собранного материала позволяет сделать заключение, что при эксплуатации в силовых трансформаторах сельских ТП выявляются три основные группы: исправное - отсутствие повреждений; условно работоспособное - имеются повреждения, но к моменту контроля к аварийному отказу за время эксплуатации не приведшие, а требующие своевременного проведения восстановительного ремонта; аварийные – выявлено повреждения, которое запрещает дальнейшую эксплуатацию. Если исключить контроль, то

следует рассчитывать только на две группы: исправное и аварийное. В первом случае выполняются текущие ремонтные работы, во втором, вывод трансформатора из работы и проведение аварийного ремонта.

Для оценки продолжительности эксплуатации силовых масляных трансформаторов в сельских электрических сетях с достаточной степени достоверности, существующая система должна быть дополнена специальными методами и технологией. Характерной особенностью является высокая наукоемкость с применением современного оборудования, методов анализа и приборов.

Отсутствие четкой взаимосвязи между ПТЭ и инструкциями по эксплуатации завода приводит к неоправданным затратам средств для повышения надежной работы трансформаторов в сельских сетях. Чтобы улучшить систему эксплуатации необходимо устранить ряд противоречий или неточностей в технической документации. Рассмотрим несколько таких.

В правилах ПТЭ электроустановок потребителей говорится, что текущий ремонт трансформаторов с отключением надо проводить по мере необходимости, но не реже одного раза в четыре года. Конкретные сроки испытания электроустановок определяются лицом, ответственным за электрохозяйство, на основе настоящих Норм и ведомственной или местной системы планово-предупредительного ремонта (ППР) в соответствии с типовыми и заводскими инструкциями в зависимости от местных условий и состояния установок. Есть неточности в согласовании сроков, объемов текущего и капитального ремонта, осмотрах, сушки трансформаторов, контроля состояния трансформаторного масла [1, 2, 3]. Огульный подход без учета особенностей конструкций трансформаторов сельских ТП и тяжелых условий их работы, недостаточно обоснован.

С большой долей уверенности можно утверждать, что сельской энергосистеме нужна более эффективная система контроля которая должна указать на возможность дальнейшей безаварийной работы трансформаторов в течение определенного промежутка времени или определить при проведении обследования на наличие имеющегося повреждения и необходимости его устранения.

Необходима система эксплуатационного контроля и диагностики (СЭКиД), для предотвращения аварийных отказов трансформаторов. С другой стороны уточнение вида, характера повреждения и анализа причин позволит повысить надежность, определит методы средства контроля. Повысится правильность

технического обслуживания трансформаторов с учетом инструкций заводов, спецификой работы и условий эксплуатации.

С большей долей уверенности можно утверждать, что необходимо повысить качество ремонта, уровень эксплуатации и надежность трансформаторов в сельских электрических сетях для предотвращения преждевременного выхода их из строя.

СЭКиД в сельской энергосистеме будет наиболее эффективна при выделении ее в отдельную структуру, равную ремонтной, а первоочередной задачей ее деятельности может быть разработка, проведение методик технического обслуживания и качественного ремонта для повышения эксплуатационной надежности трансформаторов. При этом обязательно будет учтено: особенности конструкций трансформаторов, их мощности, место расположения ТП, сезонность, загрузка трансформатора, коэффициент заполнения среднего суточного графика его работы, остаточный ресурс, возможен учет и других показателей. Такая работа, конечно потребует дополнительных исследований.

Вывод

Правильно организованный контроль силовых трансформаторов (и оборудования) в сельской энергосистеме позволит повысить эксплуатационную надежность и сократит до минимума неоправданные материальные потери, связанные с выводом трансформаторов в длительный ремонт с большими трудовыми и энергетическими затратами. Система эксплуатационного контроля и диагностики необходима как научно обоснованная для контроля технического обслуживания, текущего и капитального ремонта в жестко установленные сроки на основе эксплуатационного состояния и более экономического проведения работ по фактическому состоянию, с учетом особенности конструкций и режимов эксплуатации.

Литература

1. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей и правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. – М. Энергоатомиздат.
2. Концепция развития электрических сетей. – Мн., 2001.
3. А.П. Сердешнов, Г.Г. Усов. Сушка твердой изоляции силовых трансформаторов комбинированным методом // Агропанорама. – 2000. № 6.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЖИДКИХ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ТОПЛИВ

Харитонов В.А., Вербицкая С.В., Александров Б.Л. (КГАУ), г. Краснодар, РФ

На кафедре физики КГАУ собран макет действующей установки для омагничивания жидких углеводородных топлив, представляющий собой имитацию автомобильной системы с отбором мощности от двигателя для электропитания соленоида, намотанного в один ряд медным проводом на топливопровод в виде металлической трубки диаметром 8 мм, используемой обычно в автомобилях в системе бензопровода. Углеводородные жидкости самотеком пропускались по этой трубке при запитывании соленоида и в результате этого омагничивались. Электромагнитные характеристики соленоида следующие:

$$\text{Индуктивность: } L = X_L / \omega = 0,548 / 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 0,0017 \text{ Гн} = 1,7 \text{ мГн.}$$

$$\text{Энергия поля: } W = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,0017 \text{ Гн} \cdot 4 \text{ А}^2 = 0,0034 \text{ Дж} = 3,4 \text{ мДж.}$$

$$\text{Напряженность: } H = n \cdot I = 1345 \cdot 2 \text{ А} = 2690 \text{ А/м.}$$

$$\text{Индукция: } B = \mu_0 \cdot I \cdot n = \mu_0 \cdot H = 1,26 \cdot 10^{-6} \cdot 2690 = 3,389 \cdot 10^{-3} \text{ Тл.}$$

$$\text{Магнитный поток: } \Phi = L \cdot I / N = 0,0017 \text{ Гн} \cdot 2 \text{ А} / 1560 = 2,1 \cdot 10^{-6} \text{ Вб} = 2,1 \text{ мкВб};$$

где N_c – число витков соленоида; $n = N_c / \ell$ – число витков на единицу длины соленоида, м^{-1} ; $\mu_0 = 1,26 \cdot 10^{-6} \text{ Гн} \cdot \text{м}^{-1}$.

Исследования по влиянию омагничивания проводились на пяти одинаковых пробах, образцов объемами 200 мл бензинов марок: АИ-80, АИ-92, АИ-95 и дизельного топлива. До и после омагничивания определялись их: плотность (с помощью ареометра), коэффициент поверхностного натяжения (по способу отрыва капли), кинематическая вязкость (с применением вискозиметра ВПЖ), температура вспышки образцов углеводородных топлив (на приборе для определения температуры вспышки в закрытом тигле).

Используя следующее сокращение: МО – магнитная обработка, приводятся результаты средних значений измерений и расчётов опытных величин, полученных в ходе проведенных экспериментов.

Параметры:	Марка топлив	Без МО	С МО
Плотность (кг/м ³)	АИ-80	733	739
	АИ-92	720	730
	АИ-95	710	721
	ДТ	826	840
Коэффициент поверхностного натяжения (н/м)	АИ-80	$27,8 \cdot 10^{-3}$	$31,4 \cdot 10^{-3}$
	АИ-92	$25,0 \cdot 10^{-3}$	$26,0 \cdot 10^{-3}$
	АИ-95	$24,0 \cdot 10^{-3}$	$26,2 \cdot 10^{-3}$
	ДТ	$28,7 \cdot 10^{-3}$	$34,4 \cdot 10^{-3}$
Кинематическая вязкость (сСт.)	АИ-80	1,29	1,16
	АИ-92	1,25	1,14
	АИ-95	1,21	1,11
	ДТ	3,70	3,20
Температура вспышки топлив	АИ-80	50 ⁰ С	45 ⁰ С
	АИ-92	50 ⁰ С	45 ⁰ С
	АИ-95	45 ⁰ С	40 ⁰ С
	ДТ	55 ⁰ С	50 ⁰ С

Отмечается видимый рост плотности исследуемых топлив после их омагничивания независимо от марок.

Возрастает коэффициент поверхностного натяжения топлив всех исследованных образцов топлив после магнитной обработки, но уменьшается их кинематическая вязкость.

Наблюдается устойчивый результат по снижению температуры вспышки на 5⁰С при однократном омагничивании образцов углеводородных топлив исследовавшихся марок (АИ-80, АИ-92, АИ-95 и дизельного топлива).

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛАТЫ ЗА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ С УЧЕТОМ ЕЕ КАЧЕСТВА

Янукович Г. И., Королевич Н. Г. (БГАТУ) г. Минск

Функционирование системы электроснабжения предполагает учет и контроль использования электроэнергии, своевременное осуществление текущих платежей, соблюдение правил эксплуатации электрооборудования, сокращение перетоков электроэнергии и потерь путем установки средств компенсации реактивной мощности.

В Республике Беларусь система экономических взаимоотношений между поставщиками электроэнергии и сельскохозяйственными потребителями требует совершенствования. В настоящее время экономический механизм, позволяющий заинтересовать в сокращении потерь от некачественной электроэнергии, практически отсутствует. Для решения этого вопроса и обеспечения

взаимовыгодного развития систем электроснабжения и сельскохозяйственного производства как потребителя электроэнергии необходимо скоординировать их взаимоотношения с соблюдением интересов и возможностей сторон.

При согласовании экономических взаимоотношений интересы потребителей должны быть преобладающими. Сельскохозяйственный потребитель заинтересован в качественном электроснабжении, производитель электроэнергии – в развитии сельскохозяйственного производства, так как использование коммуникаций, которые имеются на селе, значительно снижают затраты на содержание и эксплуатацию сетей.

Электроснабжающие организации и сельскохозяйственные предприятия являются технологически связанными элементами одной единой системы, производящей конечный продукт. От надежности электроснабжения, качества электроэнергии и стоимости ее передачи зависят количество, качество и себестоимость производимого продукта и, в конечном итоге, эффективность сельскохозяйственного производства.

Основным правовым документом, регулирующим взаимоотношения потребителя и электроснабжающей организации при снабжении электроэнергией, является договор, заключаемый на началах добровольности и равноправия сторон с учетом требований законодательных и иных нормативных актов, действующих на момент заключения договора.

В соответствии с Правилами пользования электрической и тепловой энергией электроснабжающая организация должна обеспечить ее подачу в количестве, качестве и в сроки, предусмотренные условиями договора [1]. В случае подачи электроэнергии пониженного качества (с отклонениями от установленных параметров сверх допустимых пределов) поставщик должен возместить потребителю убытки в размере 25 процентов ее стоимости. Электроснабжающая организация не несет имущественной ответственности за отпуск электроэнергии пониженного качества за те сутки, в течение которых потребитель допускал превышение договорных величин потребления электроэнергии и мощности, а также не выполнял введенный электроснабжающей организацией график отпуска электроэнергии.

Кроме того, электроснабжающая организация не несет имущественной ответственности перед потребителем за отпуск электроэнергии повышенного или пониженного уровня напряжения против пределов, указанных в договоре, если потребитель не выдерживает заданные значения реактивной мощности, потребляемой из сети энергосистемы, и режимы работы компенсирующих

установок, а также за выход из строя бытовых приборов у потребителей при отклонении напряжения от номинального значения, если технические характеристики этих приборов не предусматривают такие отклонения.

Электроснабжающая организация обязана поддерживать на границе балансовой принадлежности электросети значения показателей качества электроэнергии, обеспечивающие соблюдение требований стандартов. Потребитель обязан производить периодический контроль показателей качества электроэнергии, определяемых работой электроустановок, производить мероприятия по улучшению качества электроэнергии в своих сетях.

К сожалению, данный механизм взаимоотношений не нашел практической реализации.

На наш взгляд, в договоре между потребителем и электроснабжающей организацией должны быть зафиксированы скидки или надбавки к тарифу в зависимости от качества электроэнергии, которое должно соответствовать требованиям ГОСТ 13109-97 [2].

Таким образом, платеж потребителя за электроэнергию помимо платы по тарифу должен включать и штрафные санкции за нарушение договорных обязательств, равные сумме убытков, понесенных партнерами.

При компенсации ущерба от некачественной электроэнергии возможны три ситуации:

- 1) виновен и должен оплачивать штраф потребитель;
- 2) виновна и должна оплачивать штраф электроснабжающая организация;
- 3) виновны и потребитель и электроснабжающая организация.

В каждой из приведенных выше ситуаций пострадавшей от ухудшения качества электроэнергии является не одна сторона. Так, если виновником возникновения некачественной электроэнергии стал какой-то один потребитель, то от этого несет ущерб не только электроснабжающая организация, но и другие потребители. Следовательно, плата за электроэнергию должна учитывать штраф в размере, компенсирующем ущерб и электроснабжающей организации и другим потребителям.

Литература

1. Правила пользования электрической и тепловой энергией. – Мн.: Ред. журн. «Тыдзень», 1996. – 176 с.
2. ГОСТ 13109-97. Нормы качества электроэнергии в системах электроснабжения общего назначения. – Мн.: Изд-во стандартов, 1997. – 12 с.

НЕТРАДИЦИОННЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ В АПК

О НЕКОТОРЫХ РЕЗУЛЬТАТАХ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ КОМБИНИРОВАННОЙ ВЕТРОГЕЛИОУСТАНОВКИ

Архипова Т. В., Селюк Ю. Н., (БГАТУ) г. Минск

Ограниченность запасов органического топлива, увеличение его стоимости и ухудшение экологической обстановки обуславливают необходимость всемерного использования возобновляемых источников энергии, в частности энергии ветра и солнца. При этом наиболее эффективным является комбинированное использование указанных видов энергии от возобновляемых источников.

На кафедре практической подготовки студентов БГАТУ установлена совместно с РУП «Институт энергетики АПК НАН Беларуси» и эксплуатируется с 2005 г. экспериментальная ветроэнергетическая установка. Задача исследований – определение эксплуатационных параметров установки в условиях Минского района. Основные технические характеристики указанной установки следующие: тип – горизонтально-осевая, безредукторная; ток – постоянный, номинальное напряжение – 24 В; мощность генератора (номинальная) – 2,0 кВт; диаметр ветроколеса – 3 м; высота до оси ветроколеса – 9 м; число лопастей – 3.

Основной частью экспериментальной гелиоэлектрической установки является кремниевая фотобатарея площадью 10 м², установленная стационарно под углом 30° к горизонтالي. Кроме того, в состав установки входят аккумуляторная батарея, измерительные приборы, лампы накаливания и ТЭН, моделирующие нагрузку. Блок-схема экспериментальной ветрогелиоэнергетической установки (ВГЭУ) представлена на рисунке 1.

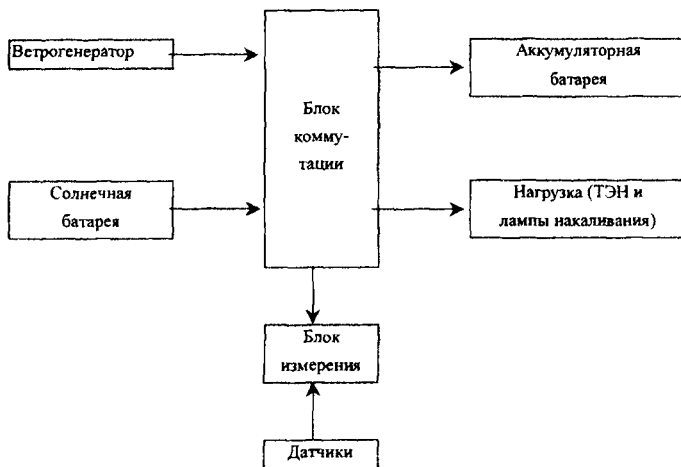


Рисунок 1 – Блок-схема экспериментальной ВГЭУ

В процессе исследований определялись энергетическая характеристика ветроэнергетической установки, характер изменения средней мощности генератора в течение суток (для суток с наибольшей средней скоростью ветра), а также количество выработанной электроэнергии. Кроме того, были определены эксплуатационные характеристики фотоэлектрической установки, характер изменения мощности на выходе фотобатареи в течение суток, а также вольтамперные характеристики солнечной батареи для суток с наибольшей интенсивностью солнечного излучения.

Согласно результатам экспериментов, выработка электроэнергии экспериментальной ветрогелиоустановкой в год составляет 3204 кВт·ч (в том числе 2059,9 кВт·ч – ветроэнергетическая установка и 1144,1 кВт·ч – фотоэлектрическая установка). Среднемесячная выработка электроэнергии составляет 267 кВт·ч (171,7 кВт·ч – ВЭУ и 95,3 кВт·ч – ФЭУ), среднесуточная выработка – 8,9 кВт·ч (5,7 кВт·ч – ВЭУ и 3,2 кВт·ч – ФЭУ).

Распределение суммарной выработки электроэнергии по месяцам представлено на рисунке 2.

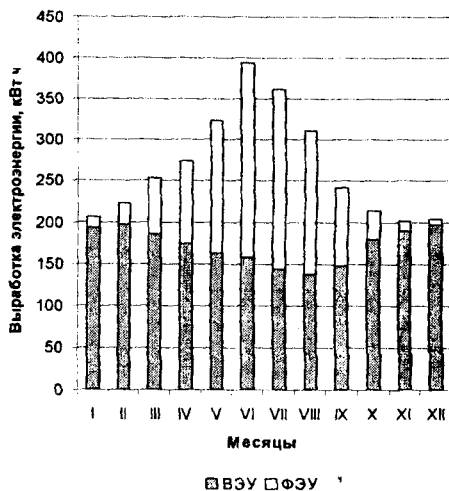


Рисунок 2 – Выработка электроэнергии экспериментальной ВГЭУ

По данным рисунка 2, экспериментальная энергетическая установка способна обеспечить электроэнергией автономный потребитель, в частности, жилой дом. Среднемесячное потребление электроэнергии при этом должно составлять не более 201,3 кВт·ч (минимальная месячная выработка электроэнергии ВГЭУ), среднегодовое – 2415,6 кВт·ч. В этом случае необходимое энергопотребление полностью обеспечивается установкой, а избыточная электроэнергия может аккумулироваться и использоваться для обеспечения работы сезонного оборудования.

СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГЕТИКА И ЕЕ РАЗВИТИЕ

Болодон В.Н., Гременок В.Ф. (БГАТУ) г. Минск

За последние десятилетия энергопотребление в мире стремительно растет. Каждая страна имеет собственную структуру энергоресурсов, используемых для производства электроэнергии. В целом в мире, однако, электроэнергия вырабатывается в основном за счет сжигания углеводородов: газа-23%, нефти-40%, угля-27%, на долю ядерного топлива приходится 4%, ГЭС - 3%.

Запасы традиционно используемых углеводородных энергоресурсов не безграничны: лауреат международной премии «Глобальная энергия» академик

А. Шейдлин считает, что, например, Россия обеспечена разведанными запасами нефти на 20 лет, а газа – на 90 лет.

Таким образом, с одной стороны наблюдается постоянный рост энергопотребления, с другой стороны запасы традиционных энергоресурсов близки к истощению; кроме того, традиционная энергетика отрицательно влияет на экологическую обстановку. Выход из этой ситуации состоит как в развитии энергосберегающих технологий, так и поиске возобновляемых, экологически чистых и достаточно дешёвых источников энергии.

Применение так называемых альтернативных источников энергии, может способствовать более разумному использованию недр Земли и уменьшению загрязнения атмосферы. К таким источникам относятся: геотермальная энергия, энергия ветра, использование биогаза для получения энергии, энергия приливов и отливов, а так же непосредственное использование солнечной энергии.

Из вышеперечисленных альтернативных источников энергии на наш взгляд выделяется Солнце. Источником энергии солнечного излучения служит термоядерная реакция – каждую секунду на Солнце $\sim 6 \cdot 10^{11}$ кг водорода превращается в гелий, в результате каждую секунду выделяется $\sim 4 \cdot 10^{20}$ Дж. Основная часть этой энергии испускается в виде электромагнитного излучения в диапазоне 0,2–3 мкм. За год на Землю приходит $\sim 10^{18}$ кВт·ч солнечной энергии. Мировые топливные запасы оцениваются в $6 \cdot 10^{12}$ т условного топлива. Если учесть, что при сжигании 1 т условного топлива выделяется $8,14 \cdot 10^3$ кВт·ч, то простая оценка показывает, что 2% падающей на Землю солнечной энергии эквивалентны энергии, получаемой от сжигания примерно $2,5 \cdot 10^{12}$ т условного топлива. Таким образом, лишь 2% солнечной энергии, достигающей поверхности Земли в год сопоставимы с мировыми топливными запасами.

По данным многолетних наблюдений солнечное полное годовое излучение на территории Минской метеостанции составляет $87,4$ ккал/см² [1], что соответствует годовому приходу на горизонтальную поверхность порядка 1015 кВт·час/м².

Солнечную энергию можно непосредственно преобразовывать в тепловую энергию. Для этих целей используют специальные устройства – коллекторы. У лучших современных коллекторах коэффициент поглощения достигает 94-95 %, а к.п.д. превышает 50 %. Суммарная площадь коллекторов в странах ЕС составляет $13,96$ млн. м², к 2010 году ее планируется довести до 100 млн. м², во

всем мире в настоящее время солнечные коллекторы занимают площадь 150 млн. м².

Другая возможность использования солнечной энергии состоит в преобразовании ее в электрическую. Она осуществляется двумя путями. Первый – это строительство солнечных электростанций (СЭС). В этом случае управляемые зеркала концентрируют лучи солнца на котле, образующийся при этом пар приводит в движение турбину с электрогенератором. Дальнейшая работа СЭС практически не отличается от работы электростанции, работающей на углеводородном топливе. Ее неоспоримым преимуществом является отсутствие загрязняющих атмосферу выбросов. В Советском Союзе в Крыму в середине 80-х годов построена СЭС мощностью 5 МВт, СЭС мощностью 0,1-10 МВт работают во Франции, США, Японии; в проекте СЭС мощностью 100 МВт. Себестоимость производства электроэнергии на таких станциях пока в 6-8 раз выше, чем на ГЭС.

Преобразование солнечной энергии в электрическую может также реализоваться с помощью солнечных элементов (СЭ) – электронных приборов, осуществляющих прямое преобразование солнечного света в электрическую энергию. Несколько солнечных элементов, соединенных в определенной последовательности на одной подложке, образуют солнечный модуль (СМ). В основе работы СЭ лежит вентильный фотоэффект, который часто называют еще фотовольтаическим или фотогальваническим эффектом.

Вырабатываемая на основе СЭ электроэнергия в настоящее время дороже, чем, получаемая на основе традиционных углеводородных энергоресурсов. За последние десятилетия, однако, наблюдается снижение стоимости 1 Вт энергии, полученной солнечными элементами. Для солнечных элементов на кристаллическом кремнии она уменьшилась с 75 \$/Вт в 1975 году до 2 \$/Вт в 2001 года. В то же время происходит устойчивый рост цен на нефть и газ. К.п.д. современных лабораторных образцов СЭ достигает 30 %.

Отметим, что в ряде Институтов НАН Беларуси и ВУЗов имеются существенные результаты в области совершенствования и разработки новых технологических процессов формирования р-п переходов, повышения эффективности использования кремния, разработки новых материалов, перспективных для гелиоэнергетики.

Приведенный материал свидетельствует о развитии солнечной энергетики в мире и о существовании всех предпосылок для ее развития в Беларуси.

Литература

1. Баршакова Е.П., Гаевский В.Л., Дьяченко Л.Н. и др. Радиационный режим СССР. Гидрометеиздат, Ленинград, 1961, С.528.

ЭНЕРГОИСТОЧНИКИ НА МЕСТНЫХ ВИДАХ ТОПЛИВА И ГОРЮЧИХ ОТХОДАХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Бохан Н.И., Артемьев В.П., Лавринович Н.Е., Фалюшин П.Л., Кожурич В.Н., Марушко В.А., Костюченко А.В., Мелешенко Б.А., (БГАТУ) г. Минск

Одной из важнейших и актуальных проблем как для агропромышленного комплекса Республики Беларусь является увеличение доли местных видов топливных ресурсов в топливно-энергетическом балансе. В настоящее время она достигает в целом по республике не более 15%. Наиболее рационален путь превращения твердого топлива в горючий (генераторный) газ по одной из схем газогенераторных процессов (прямой, обращенный, перекрестный с сжиженным слоем или смешанный).

Для выработки тепловой энергии можно применять все способы газогенераторных процессов и все известные виды газогенераторов. Но предпочтение следует отдавать газогенераторам типа Пинча, которые преобразуют в газ мелкозернистое топливо с размером частиц до 70 мм и влажностью не выше 40%. Характерной особенностью газогенераторов типа Пинча является то, что получаемый горючий газ не охлаждается, а поступает в жаровую трубу, сохраняя при этом физическое тепло и образуя факел горения с температурой 1000-1200⁰С, который контактирует с котлом или воздушным теплообменником, что позволяет проводить процесс с минимальной потерей тепла. Общий суммарный коэффициент избытка воздуха составляет 1,4-1,6 коэффициент полезного действия газогенератора без котла составляет 0,9-0,93; с котлом или теплообменником 0,8-0,85. Таким образом, применение газогенератора в комплекте с серийно вышензложенными котлами на твердом топливе или воздушными теплообменниками соответствующей мощности позволяет повысить эффективность использования топлива за счет создания более высокой температуры в жаровой трубе по сравнению с температурой в слое на колосниковой решетке, что имеет также важное значение для снижения вредных выбросов при сжигании горючих отходов, а также дает возможность переводить существующее оборудование импортируемого углеводородного

топлива на местное твердое топливо, снизить затраты на получение тепла в 5-8 раз по сравнению с использованием высококалорийных энергоносителей.

В настоящее время в Белорусском государственном аграрном техническом университете совместно с институтом ИПИПРЭ НАНБ разработано ряд газогенераторов или газогенераторных установок, работающих на местных видах топлива и горючих отходах сельскохозяйственного и других производств для воздушного отопления производственных и жилых помещений, для отопления теплиц, для сушки сельскохозяйственных материалов и древесины, для энергообеспечения транспортных с.х. средств (транспортные средства с двигателями внутреннего сгорания на твердых видах топлива на базе серийных автомобилей ГАЗ и ЗИЛ, для водогрейных установок и установок для приготовления кормов для животных, для получения электрической энергии и т.д.

На рисунке 1 показана газогенераторная установка, работающая на кусковом торфе, торфобрикете, торфокрошке и других аналогичных материалах. Отличительной особенностью данного газогенератора является то, что сжигание газов в нем происходит в закрученном потоке, который обеспечивается сопряжением патрубка вторичного воздуха в жаровой трубе по касательной с наклоном 45° по оси, специального шуровочного встроенного в футеровку низкотемпературной зоны топки и встряхивателя-рассекателя.

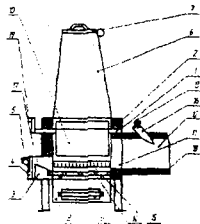


Рисунок 1 – Газогенераторная установка

Приведенная на рисунке 1 газогенераторная установка состоит из корпуса 1, футеровки 2, горловины 3, топочной дверцы 4, устройства для подачи и регулирования первичного воздуха 5, бункера для топлива 6, загрузочного люка 7, камеры для золы 8, дверцы для золы 9, рассекателя 10 с отверстием для отвода газов 11, жаровой трубы 12, устройства для подачи и регулирования вторичного воздуха 13, колосниковой решетки 14, шторки 17, встряхивателя 19, шуровочного устройства 15 и устройства для создания закрученного потока воздуха 16.

Разработан газогенератор для сжигания твердого топлива (рисунок 3), относящийся к устройствам для газификации твердых видов топлив и может быть использован для газификации торфа, торфяных брикетов, дров, древесных отходов, растительных остатков, бытового и промышленного мусора в установках для отопления различных помещений, подогрева воды и воздуха, сушки влажных материалов.

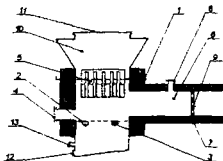


Рисунок 3 – Газогенератор для твердого топлива

Отличительными признаками данного газогенератора от описанных выше других является наличие на внутренней поверхности жаровой трубы и на поверхности установленной внутри нее решетки с размерами ячейки, равным 5% от внутреннего диаметра жаровой трубы, выполненных из жаропрочного материала и покрытых жаропрочной эмалью на основе диоксида титана.

Разработаны, изготовлены и прошли испытания газогенераторы для утилизации резинотехнических изделий (патент РБ 4548).

На базе описанных газогенераторов разработана сушилка (патент РБ №7637) для древесины.

PHOTOVOLTAIC IN THE CONTEXT OF RENEWABLE ENERGY SOURCES

Gremenok V.F., Doctor, Belarussian State Agrarian and Technical University, Minsk, Belarus

Bente K., Doctor, Professor, Institut für Mineralogie, Kristallographie und Materialwissenschaft, Universität Leipzig, Leipzig, Germany

Most of the present global energy production is accomplished by burning fossil fuels. However, the inherent problems associated with the use of fossil fuels such as their limited availability and the environmental issues force the mankind to look for new, more sustainable long-term energy solutions to provide the future energy supply. 3E-Trilemma, the most important task assigned to the 21st century civilization. Fig. 1

shows an illustration of the cycle correlation of the Economy, Energy and Environment [1]. The only way to solve this Trilemma is developing clean energy technology.

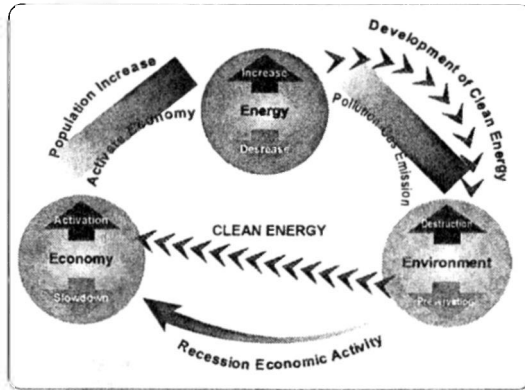


Fig. 1. 3E-Trilemma for the development of civilization.

One of the most powerful alternatives for future large scale electricity production is photovoltaic, i.e., the conversion of sunlight directly into electricity. Sunlight is available in most locations, and it provides such an enormous supply of renewable energy that if the whole global electricity demand would be covered exclusively by photovoltaic, the total land area needed for light collection would be only a few percent of the world’s desert area [2]. Solar cells are easy to install and use, and their operational lifetimes are long, which eliminates the need for continuous maintenance. Since photovoltaic systems are modular, they are equally well suited for both centralized and non-centralized electricity production. Therefore their potential uses range from consumer electronics (pocket calculators, wristwatches etc.) to large power plants. Due to its reliability and stability, solar energy is a good choice in applications where power outages or shortages cannot be tolerated, for example in hospitals and certain production plants. Photovoltaic systems can be installed on rooftops and facades of buildings, and they can be combined with solar water heating systems. The power generated by rooftop solar cells can be used locally, and the surplus can be exported to the commercial grid if there is one in the region. The possibility for local electricity production offers consumers more freedom by reducing their dependence on the availability and price of commercial electricity. This is a crucial feature especially in remote areas that lack the infrastructure of electrification. It is actually more cost-effective to install a photovoltaic system than to extend the grid if the power

requirement lies more than about half a kilometer away from the electrical line. Rooftop photovoltaic installations, both by public institutions and by individual citizens, are becoming more and more common worldwide. One of the main obstacles for photovoltaic to become more popular in the short term is the fact that the price of the electricity (cost per watt) produced by photovoltaic is in most cases not yet competitive with that produced by the conventional methods. Cost reduction can be achieved by either improving the efficiencies or reducing the production costs of photovoltaic modules. One of the most significant trends over the past 30 years – one that is undeniably one of the best measures of the success of photovoltaic research – is the continuous improvement of solar cell efficiencies for all technologies over the years [3].

For significant energy production, large-area solar-cell installations are necessary. In comparison to wafer based Si technology, thin-film solar cells can be cheaply deposited on large areas of glass, stainless steel, or even on polyimide substrates, which would make these solar cells a true lightweight [3,4]. Recent studies have shown that the application of today's technologies in a "super-large scale" manufacturing of thin-film solar cells would lead to solar electricity prices that are competitive with conventional energy sources. The analysis has shown that at 60 MWp per year the module manufacturing costs can be as low as 0.65 US\$ W⁻¹p [5]. A gradual growth of manufacturing capacity from laboratory scale (via pilot plants of growing productivity to a first generation of industrial manufacturing with an output of 10 MWp per year) within a few years allows competitive prices to be reached with relatively low risk. The main presumed effects are the reduction of equipment costs, due to a decreased share of development costs for the supplier, as well as reduced energy and labor cost, due to optimized and highly automated systems. Additionally it is assumed that device quality is increased to 12 % on average at a process yield of 90 %. It is very important to note that these estimates imply combined efforts of R&D and production experience. Summarizing the features of thin film solar cells, it is obvious that further improvements are very likely to be achieved if we attempt to better understand the material and develop appropriate deposition technologies with the prospect of fabrication costs much lower than all other photovoltaic technologies.

Bibliography

1. Y. Hamakawa. *Solar Energy Materials & Solar Cells* 74 (2002) 13-23.
2. L. Kazmerski, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 1 (1997) 71-170.
3. U. Rau. *Series on Photoconversion of Solar Energy* 1 (2001) 277-345.

4. B. Dimmier, H. W. Schock, Prog. Photovolt. Res. Appl. 6 (1998) 193-199.
5. A. Goetzberger, C. Hebling, H. W. Schock, Materials Science and Engineering

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПТИЧЬЕГО ПОМЁТА

Дупанов А.В., Баран А.Н., (БГАТУ) г. Минск

Обострение экологических проблем, истощение запасов невозобновляемых энергоресурсов, рост цен на них, обусловили интерес к разработке и применению технологий получения и использования вторичных и возобновляемых источников энергии.

Известно, что животные плохо усваивают энергию растительных кормов и более половины её уходит в навоз, который является ценным органическим удобрением и может быть при этом использован в качестве возобновляемого источника энергии. Концентрация животных на крупных фермах и комплексах обусловили увеличение объёмов навоза и навозных стоков, которые должны утилизироваться, не загрязняя окружающую среду.

Одним из путей рациональной утилизации навоза и навозных стоков является их анаэробное сбраживание, которое обеспечивает обезвреживание навоза и сохранение его как удобрения при одновременном получении биогаза.

Анаэробная переработка отходов является весьма сложным процессом и имеет целый ряд трудностей, которые сдерживают её применение. В частности это:

- уменьшение экспозиции сбраживания требует значительного увеличения энергетических затрат, вплоть до полного сжигания получаемого биогаза;
- процесс поддержания оптимального рН на различных этапах анаэробного сбраживания органических отходов связан с определёнными трудностями и неудобствами при внесении различных ингибиторов (известняка, сульфиды, цианиды, галогены, формальдегид и т.п.);
- значительная энергоёмкость процесса создания и поддержания оптимального и равномерного температурного поля в метантенке, что порой требует до 60% затрат вырабатываемого биогаза и установки в метантенк различных перемешивающих устройств и механизмов.

Одним из возможных способов совершенствования процесса анаэробной переработки органических сельскохозяйственных отходов является

использование метода электробиотехнологии, т.е. стимуляция бактерий на всех этапах метанообразования электрическим током. Данный способ позволит не только устранить существующие трудности и недостатки процесса анаэробного сбраживания, но и позволит осуществлять управление процессом и увеличить скорость роста метанобразующих бактерий.

Однако применение данного способа биоконверсии органических отходов также связано с рядом трудностей:

- фактическое отсутствие данных об электрофизических свойствах различных органических отходах, их удельной проводимости;
- отсутствие данных о влиянии электрического тока на различные группы микроорганизмов участвующих в процессе анаэробной переработки органических отходов и температуру среды.

Для получения необходимых данных и осуществления метода электробиотехнологии нами была сконструирована лабораторная биогазовая установка.

На лабораторной установке был проведён ряд опытов, на основе которых были сняты вольтамперная и температурная характеристика биомассы, определено удельное сопротивление среды и влияние на него температуры при различных концентрациях исследуемой биомассы. Опыты проводились на помёте птицы влажностью от 51,3% до 97,3%.

После экспериментального определения основных электрофизических свойств птичьего помёта становится возможным определения параметров электродной системы конкретной биогазовой установки. Расчёт необходимо производить по трём основным критериям:

- обеспечение требуемой температуры сбраживания;
- обеспечение жизнедеятельности микроорганизмов;
- обеспечение работоспособности электродной системы.

На сегодняшний день во многих странах эксплуатируются биоэнергетические установки (БЭУ), позволяющие значительно экономить другие виды топлива, а в некоторых случаях получать полную энергетическую автономию животноводческого комплекса. В Западной Европе не менее половины всех птицеферм отапливаются биогазом, а в Китае до 60% автобусного парка в качестве топлива использует биогаз.

Использование в хозяйствах республики биоэнергетических установок позволит одновременно решить пять важнейших проблем:

- экологическую (полная утилизация навоза);
- энергетическую (получение и утилизация биогаза);
- агрохимическую (получение удобрений);
- социальную (улучшение условий труда и создание новых рабочих мест);
- экономическую (снижение платежей и получение прибыли от реализации удобрений).

Кроме этого имеются технические разработки по использованию биогаза в качестве автомобильного топлива.

КОМПЬЮТЕРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПУСКА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ В СИСТЕМАХ АВТОНОМНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ВЕТРОУСТАНОВОК

Жогаев А.П., Емелин А.А., (АЧГАА) г. Зеленоград

Пуск мощных двигателей в системах автономного электроснабжения проблема не новая, этим занимались и занимаются множество ученых. По оценкам большинства специалистов мощность генератора должна превышать почти в два раза мощность пускаемого двигателя /1/. При этом в системах автономного электроснабжения на основе ветроустановок наблюдается не только изменение напряжения, но и снижение частоты вращения генератора.

Для потребителей этот режим может оказаться опасным, поэтому частоту сети стараются поддерживать на заданном уровне. Но следует заметить, что в автономных системах имеется возможность отключать потребителей на время пуска мощного двигателя, и по опросам фермеров они готовы с этим мириться.

Нами были проведены предварительные исследования характеристик генераторов применяемых на ветроустановках. А именно возможное снижение напряжения генератора при снижении частоты вращения. Было обнаружено, что при снижении частоты вращения на 20% - 30 % система автоматического поддержания напряжения справляется со своими задачами, а далее происходит почти пропорциональное снижение частоты и напряжения генератора.

При исследовании характеристик асинхронного двигателя было замечено, что для пуска двигателя снижение частоты питающего напряжения значительно повышает пусковой момент. При этом снижение напряжения уменьшает пусковой момент, но в тоже время снижается пусковой ток. Следовательно,

уменьшается нагрев двигателя, что позволяет производить более длительный пуск.

Учитывая это, нами было произведено моделирование пуска асинхронного двигателя 4А90L2У3 мощностью 3 кВт в автономной системе электроснабжения на основе ветроустановки с генератором мощностью 4 кВт. Данный двигатель используется в приводе роторной дробилки ДР – 2. Моделирование производилось с использованием специальной программы MBTU по структурной схеме приведенной на рисунке 1.

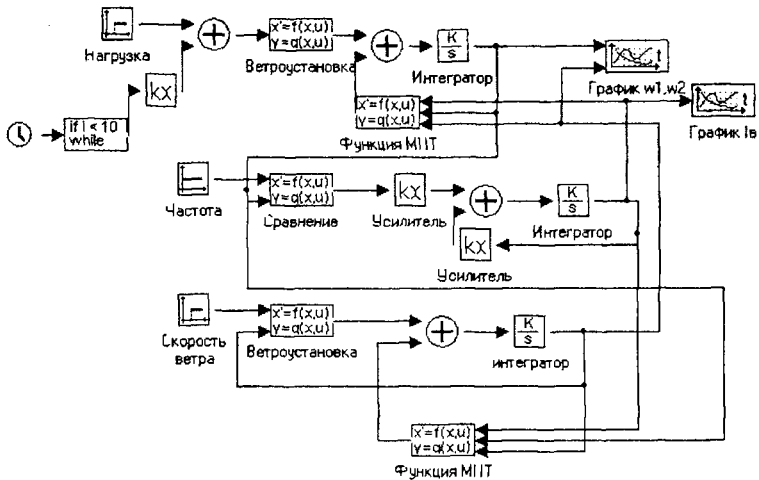


Рисунок 1 – Полная машинная структурная схема ветроустановки с обратными связями.

При этом следует отметить, что в начальный момент происходит снижение частоты вращения генератора ВУ рисунок 2, а двигатель выходит на рабочую ветвь характеристики при пониженной частоте генератора. Сразу происходит снижение тока двигателя, а следовательно и нагрузки на генератор ветроустановки. Затем происходит плавное повышение частоты вращения до рабочей, при этом асинхронный двигатель уже выведен на рабочую ветвь характеристики.

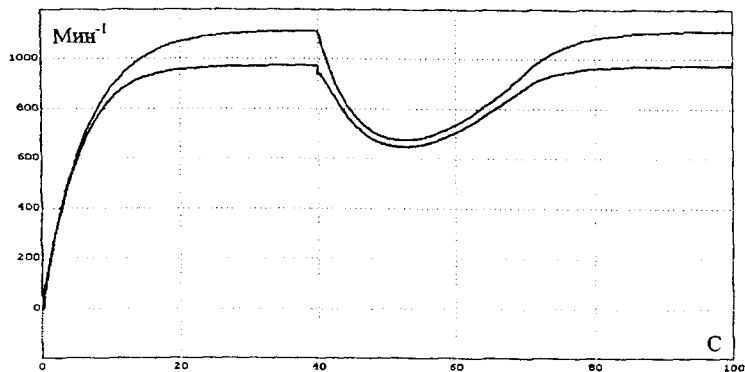


Рисунок 2 – Изменение частоты вращения статора МПТ-1 и ротора СГ-2 при пуске асинхронного двигателя

Следовательно в автономных системах электроснабжения на основе ветроустановок возможен пуск асинхронного двигателя мощностью соизмеримой с генератором ветроустановки.

СВЕТОВОДЫ В ОСВЕЩЕНИИ ПРЕДПРИЯТИЙ И ПРОИЗВОДСТВ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Кириленко А.И., (МГВАК), Соболев В.Р., (БГАТУ), г. Минск

Световодные системы, как элементы освещения, имеют давнюю историю, начиная с восьмидесятых годов девятнадцатого века, когда В.Н.Чиколев с сотрудниками предложил передавать свет дуговых источников по трубам, в которые излучение вводилось с торца. В последующие времена конструкции световодов совершенствовались и, к примеру, в 1965 г. Г.Б. Бухман обосновал перспективность устройств с выпуском излучения через продольную щель. В 1975 г. Ю.Б. Айзенберг и Г.Б. Бухман разработали принципы передачи и распределения естественного света. Вскоре появились качественные светоотражающие материалы на гибкой основе, призматические пленки с элементом жесткости в одном направлении и гибкие в другом, что позволило начать серийное производство этих систем в СССР, в том числе включая клиновидные конструкции для низких помещений и протяженных источников.

В сообщении высказываются соображения по некоторым аспектам применения световодных систем, включая предприятия агрокомплекса, с учетом современного уровня развития технологий, позволяющих реализовать возможности этих устройств на новом уровне с учетом современных представлений о воздействии света на биохимические процессы в живых организмах.

Многофункциональность световодов, способность обеспечить достаточную теплоизоляцию помещений при разумных потерях, делает их перспективным элементом освещения при дефиците поступления естественного света через оконные проемы. Такие системы позволяют селективно пропускать излучение ультрафиолетового диапазона, изолироваться от него, дают возможность перехватить световой поток от наиболее яркой части неба. К слабым местам при работе с естественным излучением следует отнести потребность в гелиостате, включающем дорогостоящую оптику и систему слежения за Солнцем. Устройство обычно содержит плоское зеркало, отражающее солнечные лучи на фиксированную линзу Френеля, софокусную с параболическим зеркалом, направляющим лучи в световод. Подобная схема необходима для сжатия (концентрации) исходного пучка солнечных лучей. Можно предложить несколько способов разрешения обозначенных трудностей:

- система зеркал, последовательно отражающих солнечный блик в торец световода, требует подстройка примерно раз в неделю;
- "неизображающая" оптика из цилиндрического зеркала преобразует параллельный пучок в узкий "нож" при точном слежении за Солнцем;
- широкоугольная не следящая оптика из двух связанных эллипсоидов вращения при трехкратном отражении луча;

В агропромышленном производстве существенен другой аспект энергоэффективного облучения растений. Как известно, фотосинтез происходит в две стадии, включающие непосредственное поглощение световой энергии и ее миграцию в молекуле хлорофилла. При максимальной близости спектрального состава к естественному это обязывает облучать растения светом в импульсном режиме с достаточно высокой интенсивностью, что вполне позволяет обеспечить световоды.

Исследование функций глаза человека привело к появлению новых критериев оценки эффективности источников света. Чувствительность рецепторов, определяющих циркадные (суточные) ритмы жизнедеятельности человека характеризуется спектральной функцией $C(\lambda)$, описывающей

эффективность воздействия источника света a_{cv} на уровень мелатонина. Этот фермент синтезируется в организме днем и ночью и синхронизирует функции ядер клеток головного мозга в соответствии с 24-часовым циклом, посылая сигналы для сна и бодрствования организма.

$$a_{cv} = \frac{\int_{380}^{780} E_{e\lambda} C(\lambda) d\lambda}{\int_{380}^{780} E_{e\lambda} V(\lambda) d\lambda} \quad (1)$$

здесь $E_{e\lambda}$ и $V(\lambda)$ – спектральная плотность излучения на сетчатке и спектральная относительная световая чувствительность глаза. Некоторые из источников имеют следующие расчетные значения коэффициента a_{cv} (табл. 1).

Таблица 1

Источник	$T_{ц}, K$	a_{cv}
Прямое солнце	5081	0,83
Голубой небосвод	19963	1,73
Облачный небосвод	5924	1,02
ЛЛ типа Biolux (Osram) (холодный дневной)	6125	1,03
ЛЛ типа «Truelight» (полноспектральная)	5600	0,89
ЛЛ стандартного дневного света	—	0,85
Белые СИД	—	1,05 – 2,0
Голубой СИД с $\lambda = 468$ нм	—	6,9
ЛН	2800	0,45
ГЛН	—	0,47
НЛВД	2100	0,2
ЛЛ	2770	0,37

Данные табл. 1. свидетельствуют, что при смене часовых поясов целесообразно не только корректировать график приема лекарств и пищи, но и режим освещения. Есть основания полагать, что на животных свет действует сходным образом и применение световодных систем позволит оптимизировать биологические ритмы у животных с точки зрения повышения их продуктивности как в летнее так и зимнее время.

Интересной особенностью является наличие в спектре Солнца “провалов” – фраунгоферовых линий, как следствия поглощения излучения внешней оболочкой – фотосферой, содержащей магний, кальций, железо, входящие и во многие биомолекулы: гемоглобин, хлорофиллы, белки, комплексы нуклеиновых кислот и т.п. Существует мнение, что эти молекулы “выбрали” себе такие атомы потому, что в спектре Солнца излучение, возбуждающее эти элементы, отсутствует, что обеспечивает устойчивость клеток и стабильность самого живого организма (табл. 2).

Таблица 2 – Важнейшие фраунгоферовы линии, поглощаемые биомолекулами и атмосферой

Символ	Цвет	Длина волны, нм	Элемент	Биологическая молекула	Источник света
A	красная	759	O ₂ , земная атмосфера		
B	красная	686	O ₂ , земная атмосфера		Неоновая ДНеСГ 500-1
C	красная	656	H ₂		
D	желтая	589	Na	Фермент(K+Na) АТФаза (белок)	Натриевые лампы высокого давления
E	зеленая	526	Fe	гемоглобин	
b	зеленая	518 516	Fe, Mg	гемоглобин, хлорофилл	Магнелиевые лампы-вспышки
F	синяя	486	H ₂		
G	синевiolet.	430	Fe, Ca		Аргонная лампа
H	фиолетовая	396	Ca	рибонуклеаза, активатор ферментов	

Приведенные соображения в виде гипотезы проверены на некоторых простейших организмах, на функциях растений и в опытах с вирусом СПИД, когда при облучении магниевой разрядной лампой была установлена инактивация вируса уже при непродолжительном облучении. Это свидетельствует о новой экологической проблеме, необходимости учета фраунгоферовых линий в технике генерирования и передачи искусственного, которые обеспечивают световой комфорт и жизнеспособность организмов. Особое внимание следует уделять ситуациям, когда реализуются повышенные уровни освещенности. В первую очередь это относится к лампам дугового разряда с парами металлов и инертными газами. Изложенные здесь обстоятельства должны приниматься во внимание при проектировании освещения сельскохозяйственных предприятий и производств и в полной мере они выполнимы только при создании совмещенных систем освещения – естественного и искусственного – на основе световодов.

ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ФОТОЭЛЕКТРОДОВ

Ключник Т.В. (БГАТУ), Гременок В.Ф. (ОИФТТП НАН Б), г. Минск

Развитие водородных (гелиоводородных) технологий требует новых фоточувствительных материалов для использования их в качестве фотоэлектрода при электрохимической конвекции солнечной энергии в химическую энергию.

Наиболее используемыми оксидами, которые резистентны к коррозии и фотокоррозии в водной среде, являются TiO_2 , CaTiO_3 и SrTiO_3 . Другие материалы, которые также могут использоваться это Fe_2O_3 , GaP и GaAs – поликристаллические полупроводники.

TiO_2 – полупроводниковое соединение. В таких соединениях электроны могут находиться в двух состояниях: свободном и связанном. В первом состоянии электроны движутся по кристаллической решётке, образованной катионами Ti^{4+} и анионами кислорода O^{2-} . Во втором состоянии – основном, электроны связаны с каким-либо ионом кристаллической решётки и участвуют в образовании химической связи. Для перевода электрона из связанного состояния в свободное необходимо затратить энергию не менее 3,2 эВ. Эта энергия может быть доставлена квантами света с длиной волны $\ell < 390 \text{ нм}$. Таким образом, при поглощении света в объёме частицы TiO_2 рождается свободный электрон и электронная вакансия (в физике полупроводников такая электронная вакансия называется дыркой).

Один из наиболее перспективных материалов для создания высокоэффективных фотоэлектрохимических ячеек – арсенид галлия. Это объясняется такими его особенностями, как:

- почти идеальная для однопереходных солнечных элементов ширина запрещенной зоны 1,43 эВ;
- повышенная способность к поглощению солнечного излучения: требуется слой толщиной всего в несколько микрон;
- относительная нечувствительность к нагреву батарей на основе GaAs;
- характеристики сплавов GaAs с алюминием, мышьяком, фосфором или индием дополняют характеристики GaAs, что расширяет возможности при проектировании солнечных элементов.

Типичный солнечный элемент на основе GaAs состоит из очень тонкого слоя AlGaAs в качестве окна.

Использование кремния в качестве фотоэлектрохимических генераторов водорода или же в виде фотоэлектрохимических преобразователей солнечного света затрудняется его химической нестабильностью в этих процессах. В кислых и нейтральных средах кремний покрывается окислом с шириной оптической зоны около 4 эВ, который затормаживает все процессы переноса заряда на рабочую поверхность. Путём создания сложных многослойных структур можно контролируемо управлять фотовольтаическими и фотоэлектрическими параметрами кремния. Контролируемое управление параметрами силицида и

кремниевой подложки, (высота потенциального барьера Шотки и характер границы раздела силицид / кремний, высота барьера и глубина и резкость профиля n-p перехода, плотность электронных состояний на поверхности и на границе раздела диоксид кремния / силицид / n-p переход, толщина туннельного слоя окисла, значение уровня Ферми силицида по отношению к окислительно-восстановительному уровню электролита и т.д.) обеспечивает быструю кинетику переноса носителей заряда к рабочей поверхности фотоэлектрода. Перенос осуществляется через силицидовый слой из области генерации электронно-дырочных пар, которая находится далеко в глубине объёма кремниевой матрицы с минимальным количеством центров рекомбинации носителей заряда. Это существенно повышает квантовый выход зарядов, участвующих в фотоэлектрохимической реакции генерации водорода. Путём нанесения на поверхность кремния тонких (от 1 нм до 100 нм) плёнок Ni, Pd, Pt и последующего формирования силицидовых фаз удалось достичь стабильности работы до нескольких часов работы. Использование метода ионной имплантации для ионной очистки поверхности и для ионного перемешивания нанесённого слоя металла с поверхностным слоем атомов кремния позволило значительно увеличить срок работы фотоэлектродов с нескольких часов до нескольких сотен часов длительной работы.

Аморфный кремний (a-Si:H) выступил в качестве более дешевой альтернативы монокристаллическому. Поэтому для существенного поглощения видимого света достаточно пленки a-Si:H толщиной 0,5–1,0 мкм вместо дорогостоящих кремниевых 300-мкм подложек. Наиболее простые конструкции СЭ из a-Si:H были созданы на основе структуры металл – полупроводник (диод Шотки).

При использовании стеклянных подложек на них наносят прозрачную для света проводящую оксидную пленку (TCO) из SnO_2 , In_2O_3 или $\text{SnO}_2+\text{In}_2\text{O}_3$ (ITO), что позволяет освещать элемент через стекло. Поскольку у нелегированного слоя электронная проводимость выражена слабо, барьер Шотки создается за счет осаждения металлических пленок с высокой работой выхода (Pt, Rh, Pd), которая обуславливает образование области положительного объемного заряда (обеднённого слоя) в a-Si:H.

При нанесении аморфного кремния на металлическую подложку образуется нежелательный потенциальный барьер a-Si:H / металлическая подложка, высоту которого необходимо уменьшать. Для этого используют подложки из металлов с малой работой выхода (Mo, Ni, Nb). Перед нанесением аморфного кремния

желательно осадить на металлической подложке тонкий слой (10–30 нм) a-Si:H, легированный фосфором. Не рекомендуется использовать в качестве материалов Al а также Cu и Ag, поскольку a-Si:H обладает плохой адгезией к ним.

ТРЕБОВАНИЯ К МАТЕРИАЛАМ, НЕОБХОДИМЫМ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СОЛНЕЧНОГО ВОДОРОДА

Ключник Т.В. (БГАТУ), Гременок В.Ф. (ОИФТТП НАН Б), г. Минск

Кристаллическим компонентом фотоэлектрохимической ячейки для производства водорода используя солнечную энергию является фотоэлектрод. Следовательно, эта технология может стать коммерчески выгодной, когда преобразование солнечной энергии в химическую превысит 10%.

Фотоэлектрический преобразователь (ФЭП) солнечной энергии с поверхностно-барьерной структурой (ПБС) p-Si/TiM/ITO, где оптически прозрачный электропроводящий полимерный материал (ПМ), обладает электронной проводимостью по примесной зоне и представляет собой оптически прозрачный полимерный диэлектрик, в матрицу которого для создания электропроводности введены комплексы металлов переменной валентности (КМПВ). Благодаря высокой степени адгезии используемых полимерных материалов к полупроводникам, стёклам ПМ может быть использован в качестве клея для соединения элементов конструкции ФЭП, а именно, кремния и противоиэлектрода, оптически прозрачного токопроводящего материала, например, оксида олова, индия или их сплава ITO.

Для эффективного преобразования солнечной энергии в химическую энергию продуктов фотоэлектролиза необходим фотоэлектрод, чувствительный к видимому свету. Этому условию удовлетворяет кремний; однако кремниевый фотоанод нестабилен в условиях фотоэлектролиза водных растворов: он окисляется с образованием на поверхности изолирующей оксидной плёнки SiO₂. Простейшая конструкция солнечного элемента (СЭ) – прибора для преобразования энергии солнечного излучения – на основе монокристаллического кремния основана на следующем: на малой глубине от поверхности кремниевой пластины p-типа сформирован p-n-переход с тонким металлическим контактом. На тыльную сторону пластины нанесен сплошной металлический контакт. Когда СЭ освещается, поглощенные фотоны генерируют неравновесные электрон - дырочные пары. Электроны, генерируемые в p-слое вблизи p-n-перехода, подходят к p-n-переходу и существующим в нем электрическим полем выносятся в n-область. Аналогично

и избыточные дырки, созданные в *n*-слое, частично переносятся в *p*-слой. В результате *n*-слой приобретает дополнительный отрицательный заряд, а *p*-слой – положительный. Снижается первоначальная контактная разность потенциалов между *p*- и *n*-слоями полупроводника, и во внешней цепи появляется напряжение. Отрицательному полюсу источника тока соответствует *n*-слой, а *p*-слой – положительному.

Наиболее обещающим типом защитных покрытий является метод покрытия плёнкой вырожденного полупроводника SnO₂. Для улучшения кинетики переноса заряда через границу плёнка/раствор на поверхности SnO₂ наносят катализатор, например, RuO₂. Электроды с защитно-каталитическим покрытием кремниевого фотоанода оксидным материалом с металлической проводимостью – совместным окислом рутения и титана (ОРТ), зарекомендовали себя как очень стойкие и каталитически активные. Электроды готовятся из промышленных кремниевых (*n* - типа) шайб, легированных фосфором. Они покрываются плёнками ОРТ с соотношением Ru:Ti близким 1:1. При этом составе ОРТ-электрод обладает близкой к металлической проводимостью и хорошими электрокаталитическими свойствами.

Покрытие кремния плёнкой ОРТ осуществляется двумя способами. По 1-му способу на нагретую до 450-550 °С кремниевую подложку набрызгивали спиртовой раствор солей титана и рутения; при этом происходило разложение их с образованием ОРТ. Электроды, на границе кремний/ОРТ имеются ловушки, в которых накапливаются неосновные носители, так что кинетика фототока определяется кинетикой заполнения и опустошения этих ловушек. Квантовый выход фототока невелик.

По второму методу плёнку ОРТ наносят на кремний путём катодного распыления ОРТ- мишени в атмосфере аргона. Получаемый при этом контакт кремний/ОРТ имеет омический характер. В ходе последующей термообработки в гелии или на воздухе (450-550 °С) контакт превращается в выпрямляющий, при этом на электроде появляется анодный фототок. Потенциал появления фототока зависит от наличия редокс-системы в электролите, при переходе из одной системы к другой его изменение коррелирует с изменением обратимого потенциала этих систем. Так, при переходе от Cl⁻/Cl₂ к Br⁻/Br₂ соответствующие изменения составляют 0,25 и 0,29 В; при переходе от Br⁻/Br₂ к I⁻/I₂ – 0,5 и 0,53В. Подобное поведение согласуется с моделью, в рамках которой покрытый плёнкой полупроводниковый электрод рассматривается, как диод Шотки с включенным последовательно электролизёром. Это подтверждается и

ёмкостными данными: они показывают, что основное падение потенциала происходит на контакте кремний/плёнка. Основная область фоточувствительности электрода лежит в видимой части спектра, что даёт возможность использовать его для преобразования энергии солнечного света. Испытание стабильности электрода показало, что некоторый спад фототока, примерно в 2 раза, происходит лишь после 500 часов работы.

Отсюда следует, что плёнка ОРТ эффективно защищает кремний от фотокоррозии. Величина фототока определяется строением границы кремний/ОРТ, которая в свою очередь определяется технологией приготовления электрода. Совершенство её, вероятно, можно значительно поднять квантовый выход фототока при умеренных анодных потенциалах.

ОТХОДЫ РАСТЕНИЕВОДСТВА – ПОТЕНЦИАЛЬНОЕ СЫРЬЕ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ГАЗООБРАЗНЫХ ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ

Кожурин В.Н., Фалюшин П.Л., Ловкис В.Б., Бохан Н.И., Галинская Н.Е.,
Гаель И.А., (БГАТУ) г. Минск.

В работе содержится характеристика отходов растениеводства, как потенциального сырья для получения газообразных энергоносителей, и результаты термогравиметрического анализа процессов пиролиза образцов ржаной соломы и льнокостры, при помощи которого были выявлены общие закономерности их термического разложения. Приведены экспериментальные данные по пиролизу ржаной соломы и льнокостры на лабораторных установках с определением состава и теплоты сгорания газа.

Возможность использования сельскохозяйственных отходов в качестве энергоносителей определяется видом сельскохозяйственной культуры и количеством растительных отходов. Отходы включают остатки на поле после сбора урожая, сортировки, очистки и подготовки сельскохозяйственных культур к переработке.

Наиболее перспективным видом сельскохозяйственных отходов для использования в энергетике являются солома и льнокостра. В Республике Беларусь энергетический потенциал соломы злаковых культур, льнокостры, составляет в зависимости от урожайности ориентировочно 1,4 млн. т. у. т. в год, реально для использования в малой энергетике, по-видимому, следует принять около 1,1 млн. т. у. т. в год [1,4].

Степень полезного использования различных видов растительной биомассы и стоимость получаемой из нее энергии в значительной мере определяются

технологией ее переработки. Различные способы термохимической переработки биомассы позволяют получать твердые, жидкие и газообразные продукты, более пригодные для использования в энергетике. Одним из путей вовлечения в энергобаланс энергии биомассы, кроме прямого сжигания, является термохимическая переработка отходов растениеводства, позволяющая преобразовать их в горючий генераторный или пиролизный газ. Ранее была показана возможность получения генераторного газа из отходов растениеводства методом обращенного процесса газификации [2].

С целью изучения закономерностей термохимических превращений при газификации и пиролизе растительных отходов проведено моделирование этих процессов методом термического анализа (ТА) в различных режимах на дериватографе с образцами ржаной соломы и льнокостры.

Этот метод позволяет получать информацию о термохимических превращениях и термоустойчивости вещества при его нагревании в различных условиях. При этом одновременно фиксируются фазовые переходы, потеря массы, скорость потери массы и тепловые эффекты, что дает возможность прогнозировать технологические режимы процессов пиролиза и горения.

Как следует из данных ТА наиболее интенсивно процесс термического разложения органического вещества соломы протекает с экзотермическим эффектом в области 200-400°C. При этом потери массы составляют около 50 %. При достижении температуры 370°C процесс термораспада замедляется и протекает с меньшей скоростью до температуры 840°C; потери массы достигают около 90 %.

Общие закономерности термолиза льнокостры по данным термогравиметрического анализа аналогичны процессу разложения соломы, однако в области температур 200-500°C термоустойчивость органического вещества льнокостры выше. Потеря массы составляет для нее 65,1 %, а для соломы – 73,3%, что свидетельствует о различиях в их химическом составе.

Таким образом, при пиролизе соломы и льнокостры при температуре >800°C возможно превратить их органическое вещество в горючий газ и другие летучие соединения с теплотой сгорания не менее 3000 ккал/м³, что имеет важное значение при получении газа для двигателей внутреннего сгорания.

Проведены экспериментальные исследования по пиролизу ржаной соломы и льнокостры в кварцевой реторте с электрообогревом в неподвижном слое при 800°C и скорости нагрева 5-8 °C/мин с определением выхода твердых (кокс), жидких (смола + вода) и газообразных продуктов. Выход продуктов по пиролизу

ржаной соломы составил: влажность – $W=8,5\%$; кокс – $25,5\%$, жидкие продукты – $56,1\%$, газ – $18,4\%$; льнокостры: влажность – $W=9\%$; кокс – $30,9\%$, жидкие продукты – $51,2\%$, газ – $17,9\%$.

Влияние вида исходного сырья не оказало существенного влияния на состав газа, отмечено только повышенное содержание метана в пиролизном газе льнокостры, обусловленное её химическим составом, более высоким содержанием в органическом веществе метоксильных групп – OCH_3 [5]. В подвижном же слое замечено увеличение содержания водорода и оксида углерода.

Выход горючего газа составляет около 18% от сырья, зависит от условий процесса, температуры и скорости нагревания; при высокоскоростном пиролизе выход газа возрастает в 2-3 раза.

Теплота сгорания газа ржаной соломы (3335 ккал/нм^3) оказалась на 8% ниже теплоты сгорания газа льнокостры (3610 ккал/нм^3), что также связано сего составом – более высоким содержанием негорючего компонента CO_2 и понижением содержания метана в газе пиролиза соломы.

Результаты исследования механизма газообразования в зависимости от температуры пиролиза показали, что максимальная концентрация оксида углерода в газе возрастает при $300\text{-}350^\circ\text{C}$, что обусловлено термораспадом кислородосодержащих соединений органического вещества соломы, и далее с повышением температуры падает; содержание водорода резко возрастает только после 450°C , а метана растет $500\text{-}700^\circ\text{C}$, а затем начинает снижаться.

Теплота сгорания газа, зависящая от его состава, соотношения компонентов, обладающих разной теплотой сгорания, также растет до указанной температуры, а затем начинает падать после 700°C , когда в составе газа преобладают CO и H_2 и снижается содержание CH_4 . Следовательно, оптимальной температурой является $550\text{-}600^\circ\text{C}$ для получения пиролизного газа.

Таким образом, пиролизный газ, полученный из отходов растениеводства, обладает относительно высокой теплотой сгорания по сравнению с генераторным газом и его следует рекомендовать для использования в двигателях внутреннего сгорания.

Литература

1. Крутов А. В. Использование региональных возобновляемых и вторичных энергоресурсов в сельскохозяйственном производстве // Аграрная энергетика в XXI веке: Материалы межд. научн.- техн. конф. Мн., 2001. С.191-193.

2. Колеров Л. К. Газомоторные установки. М., 1951. С.43.

3. Пат. 5032 РБ, МКИ С 10 J 3/20, F 23G 7/10, 5/027. Газогенератор для отходов растениеводства / Н. И Бохан., П. Л Фалюшин., В. А Буслов., И. С. Куликов., А. В Буслов., В. Б. Ловкие. Регистрационный номер заявки а 19990474, заявлено 05.11.1999г. Опубликовано в официальном бюллетене, №1.2002.

4. Фалюшин П. Л., Жуков В. К., Куликов И. С, Бохан Н. И. Жидкие и газообразные энергоносители на основе растительной биомассы //Аграрная энергетика в XXI веке: Материалы межд. научн.-техн. конф. Мн., 2001. С.197-199.

5. Карпунин И.И., Казакевич П.П., Перевозников В.Н. О химическом составе льняной соломы и использовании отходов переработки льна. Мн.: НАН Беларуси; 2003.

НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ БИОГАЗОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Л. Линдов (BioSystem), Т. Андерссон, О. Бабушкин, С. Карасик (SVEDAB), Швеция.

Биогазовые технологии активно развиваются в Швеции наряду с технологиями производства других альтернативных источников энергии. Наибольшее распространение имеют технологии по получению биогаза из органических отходов свиноферм, птицефабрик и коровников. На сегодня в Швеции уже действуют биогазовые установки на 15 фермах различного профиля, имеется до 12 биогазовых станций, использующих газ от городских свалок, 15 биогазовых станций по переработке городских отходов канализаций и более чем 60 биогазовых станций, работающих на смешанных органических отходах (отходах скотобоев, молочных заводов, производства сиропов и т.д.).

Строительство биогазовых станций неуклонно растёт и в общем энергетическом балансе страны уже составляет около 4%. Швеция имеет мощный энергетический ресурс за счет развитой сети гидроэлектростанций и атомных станций, которые в целом обеспечивают до 85% энергоресурсов страны. Несмотря на эти доминирующие источники энергии, биогазовая энергетика также имеет свою нишу. Практика показала, что наличие биогазовых станций на фермерских хозяйствах является рентабельным и позволяет удерживать продукцию на конкурентоспособном уровне за счет снижения энергетической составляющей и при этом дополнительно получать высокоэффективное органическое удобрение.

Эффективность биогазовых установок можно проиллюстрировать на примере биогазовой станции в Лахольме в южной части Швеции. На биогазовую установку ежегодно поступает приблизительно 30 000 т навоза и 5000 т органических отходов со скотобоев и других промышленных предприятий. Это позволяет ежесуточно получать 3000 – 4000 м³ газа, что соответствует объему нефти от 2000 до 2500 литров. По газопроводу длиной около 2 км биогаз подается в городской район на генераторную станцию для получения электричества и горячей воды. Это позволяет обеспечить теплом примерно 350 квартир. За счет высокого выхода энергии и её эффективной утилизации достигается коэффициент полезного действия, составляющий 88,4%.

Компания BioSystem начала строительство первых биогазовых станций уже в 1975 -76 годах. На протяжении 30-летней деятельности по проектам компании BioSystem было построено более 40 биогазовых станций для переработки различных типов органических отходов в 29 странах - практически на всех континентах мира. Это Латинская Америка и Северная Америка, Европа и Азия. За указанный период были разработаны технологии, основанные на новых инженерных решениях, были также изучены новые подходы к решению задач по преобразованию органических отходов в биогаз. Компания имеет два оригинальных решения, которые защищены двумя патентами в 1997 году.

В качестве иллюстрации возможностей новой технологии, которую в настоящее время использует BioSystem, приведём сравнительные данные по переработке отходов на свиноферме в количестве 17 м³ твердой фракции и 550 м³ жидкой фракции в сутки. Учитывая большое количество жидкого навоза, наше предложение было построено на его использовании как основного сырьевого источника для получения газа, электроэнергии и тепла. Для этого мы применили наши разработанные технологии с использованием анаэробной фильтрации. Анаэробный фильтр может пропускать достаточно мощные потоки, кроме того, бактерии не вымываются потоком из реактора в сравнении с традиционными реакторами. Это даёт возможность разрабатывать компактные реакторы со временем нахождения в них субстрата от 1 до 3 дней при температуре процесса 35°С по сравнению со временем выдерживания 25-30 дней в традиционном реакторе. Достаточно иметь такой реактор ёмкостью 500 м³, чтобы произвести 1660 м³ газа в сутки (около 69 м³ газа в час). Анаэробный фильтр подобен аэробному проточному фильтру и имеет пластмассовые насадки в закрытом резервуаре.

Мы обычно используем пластмассовые насадки с поверхностью $100 \text{ м}^2/\text{м}^3$ с открытой структурой, чтобы избежать засорения. Благодаря короткому времени пребывания в реакторе, большее количество CO_2 может быть растворено в воде, что впоследствии сказывается на выходе метана, содержание которого составляет 80-90% по сравнению с 60-65% в традиционном реакторе. При использовании в технологической линии реактора для анаэробной переработки твердой субстанции возможно получение дополнительного количества метана - до 1000 м^3 газа в сутки с содержанием метана в биогазе до 65%. Таким образом, подобная биогазовая станция может произвести до 2660 м^3 биогаза в сутки.

Заключение

Компании SVEDAB и BioSystem имеют достаточный научный, технический и инженерный потенциал для проработки совместной программы по реализации имеющихся в Республике Беларусь ресурсов для наиболее эффективного производства и использования биогаза. Установки компании BioSystem разрабатывались преимущественно для эксплуатации в условиях Швеции и Норвегии, климатические зоны которых схожи и являются более жесткими, чем в Республике Беларусь. Мы предлагаем реализовать наши оригинальные технические решения, позволяющие успешную эксплуатацию биогазовых установок при различных погодных условиях в течение всего года.

ПРИМЕНЕНИЕ ИНФРАКРАСНЫХ ГАЗОВЫХ ТЕПЛОИЗЛУЧАТЕЛЕЙ ДЛЯ ОБОГРЕВА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Ловкис В.Б., Бохан Н.И., В.В. Носко В.В., Абрамчик Л.А. (БГАТУ),
О.Г.Мартынов (ИТМО НАНБ) г. Минск

В настоящее время в существующих системах обогрева помещений сельскохозяйственного назначения, в первую очередь теплиц, машинно-тракторных ремонтных мастерских, ангаров, складских помещений, цехов по переработке продукции, а также животноводческих и птицеводческих ферм используется принцип передачи тепла конвекцией. Тепло от теплогенераторов, батарей пароводяного теплоснабжения или от теплоэлектронагревателей передается воздуху, который разносит его по объему помещения.

Требуемый комфорт в таких случаях обеспечивается только при прогреве всего помещения в целом, что значительно затруднено вследствие его большого объема. Сквозняки, большие дверные проемы, подъем более теплых масс воздуха вверх под потолок или крышу, с одной стороны, способствуют огромным

теплопотерям, а с другой приводят к искажениям желаемого теплового поля, в результате чего внизу у пола (у грунта в теплицах) оказывается холоднее всего.

Теплоизлучатель видимого или инфракрасного спектра устанавливается непосредственно над (или возле) объектом нагрева и обогревает прежде его самого, а затем уже весь остальной объем помещения. Максимально комфортные условия создаются прежде всего в зоне самого объекта. Разработки тепловыделяющих систем с высокой долей лучистой составляющей ведутся уже много десятилетий. Самыми распространенными в настоящее время являются системы, построенные на базе керамических материалов с прямоточно-канальной структурой. Горючая газовая смесь, проходя через сквозные отверстия (как правило круглого сечения) в керамической пластине, разбивается на многочисленный ряд микроструй, сгорающих на ее поверхности в виде микрофакелов. Раскаленная поверхность керамики отдает тепло сгорания газа в основном (до 75%) за счет лучистой составляющей.

По принципу действия теплоизлучатели делятся на электрические или газовые. По диапазону спектра на «светлые» (при температуре излучения в 900°C) или «темные» (инфракрасные при температуре излучения до 550°C). Конструктивно излучатели выполняются в виде панелей или труб значительной протяженности.

В настоящее время отечественному пользователю предлагаются все виды теплоизлучателей, работающих на природном газе. В основном - это импортные поставки. Их всех объединяет высокая цена: около 100 долларов США за 1 кВт установленной мощности. Для отечественного потребителя такие высокие цены несмотря на последующую экономию весьма неудобны или вовсе недоступны из-за складывающихся больших стартовых капиталовложений.

В Республике Беларусь на БелОМО освоен выпуск электрических «светлых» теплоизлучателей по средней цене около 27 долларов США за 1 кВт. Высокий излучательный коэффициент полезного действия (до 92%), простота обслуживания и надежность делают их весьма привлекательными для эпизодического использования. Для массового использования и в силу дороговизны электроэнергии (среднесуточное потребление электроэнергии на обогрев в 20 раз дороже природного газа), загазованности помещений аммиаком, сероводородом и другими агрессивными газами и парами, общей и локальной запыленности, они в сельском хозяйстве вовсе не пригодны.

Также в Республике Беларусь на ОАО «ГСКБ» (г. Брест) освоен выпуск «светлых» газовых горелок инфракрасного излучения типоразмерного ряда из 3-х наименований по мощности: 14,5; 29,5; 46,24 кВт, работающих на природном или

сжиженном газе. Но хуже всего, что энергоносители для этих излучателей поставляются из-за пределов территории Республики, что является стесняющим фактором развития производства отечественной сельскохозяйственной продукции.

Самым важным элементом конкурентоспособности предлагаемых теплоизлучателей является их универсальность. Использование в качестве топлива любого горючего газа (природного, сжиженного или, особенно, генераторного) при элементарной переналадке устройства дает возможность бесперебойной работы теплоизлучателей в широком диапазоне неблагоприятных внешних факторов.

В настоящее время в соответствии с решением задачи повышения энергетической безопасности все шире в сельском хозяйстве используются газогенераторы. Одним из методов использования получаемого генераторного газа является его обычное сжигание в жаровой трубе и передача тепла воздуху в помещениях посредством обычных конвективных теплообменников. Дальнейшую экономию энергоресурсов можно будет осуществить при переходе от конвективных к инфракрасным нагревателям.

Не менее важным элементом конкурентоспособности предлагаемых излучателей по сравнению с другими системами обогрева будет улучшение условий труда персонала при их экономичности, особенно в холодное время года как, например, внутри помещений хозяйств, так и на наружных рабочих участках.

Осуществление режима низкотемпературного сжигания обеспечивает самое минимальное загрязнение окружающей среды вредными веществами (CO , NO_x) в продуктах сгорания.

Однако существенным недостатком генераторных газов как топлива является их невысокая теплотворная способность. При их сжигании с целью получения тепла в обычных факельных горелках процесс горения из-за малой калорийности протекает весьма неустойчиво и с большим недожегом. Авторским коллективом найдено решение, которое заключается в повышении интенсивности взаимодействия катализатора и газа посредством турбулизации его течения в объеме ВПЯМ.

Ориентировочная потребность теплоизлучателей в пересчете на мощность 14,5 кВт в республике составляет минимум 13 000 штук. В силу их невысокой стоимости представляется возможность их экспортных поставок в Россию и другие страны.

СОЗДАНИЕ УПОРЯДОЧЕННЫХ МАССИВОВ НАНОПРОВОЛОК ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В КАЧЕСТВЕ ЭЛЕКТРОДОВ ХИМИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА

Новиков В.П., Стецик А.Н., Филиппович С.Р.

ОИФТТИ АН Беларуси, Минск

БГАТУ, Минск

Удельная мощность, величины максимальных разрядных токов, коэффициенты полезного действия химических источников существенно зависят от микроструктуры электродов. Оптимальной для большинства химических источников тока является структура «наношетки», представляющей собой массив ориентированных нанопроволок, имеющих общий контакт с токосъемником. В настоящее время ведется интенсивный поиск методов создания структур такого типа. Наибольшее распространение в синтезе нанопроволок получили методы, основанные на использовании вспомогательных структур (шаблонов), пространственно ограничивающих область синтеза и, тем самым, задающих толщину металлических проволок [1]. В большинстве случаев, качестве шаблонов используются пористый оксид алюминия. Синтез проволок в этом случае состоит в «заращивании» пор шаблона металлом методом электролиза. Метод получения нанопроволок с использованием шаблонов обеспечивает воспроизводимость физических характеристик объектов, однако он не пригоден для получения больших количеств материала.

Для создания упорядоченных массивов нанопроволок мы использовали обнаруженное нами явление заключающееся в том, что при определенных условиях электролиза происходит образование упорядоченного композита, представляющего собой кристалл соли, «проросший» металлическими нано- или микропроводами.

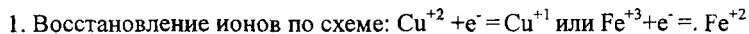
Исследование методом сканирующей электронной фотографии показало, что электролитические катодные осадки являются упорядоченными композиционными структурами, состоящими из нано- (микро-) проволок металла толщиной 50-100 нм равномерно распределенных в матрице соли. Микро- (нано-) проволоки металла в композите параллельны друг другу и ориентированы относительно граней кристаллов под определенными углами. Данное явление мы обнаружили в системах, представленных в таблице 1.

Таблица

Состав электролита	Плотность тока (мА/см ²)	Состав композиционной структуры
CuSO ₄ ·5H ₂ O, Na ₄ P ₂ O ₇ . (водный раствор)	10 до 100	Нанопроволока Cu в матрице из Cu ₄ P ₂ O ₇ ·10H ₂ O
Раствор FeCl ₃ в диметилформамиде	100-500	Нанопроволока Fe в матрице FeCl ₂
Раствор FeCl ₃ + Cu Cl ₂ в диметилформамиде	100-500	Нанопроволока Cu в матрице из FeCl ₂
Раствор FeCl ₃ + Co Cl ₂ в диметилформамиде	200-500	Нанопроволока Co в матрице из FeCl ₂ * Co Cl ₂

Микрофотография массива волокон, полученная на образце с частично удаленной растворением солевой матрицей показана на рис. 1. Варьирование режимов электролиза показало, что рост упорядоченного композита происходит при параметрах лежащих между областью роста осадка соли и областью формирования металлических дендритов (см. рисунок 1).

Необычным в обнаруженном нами электрохимическом процессе является параллельное протекание на катоде двух восстановительных электрохимических реакций:



Эта реакция инициирует образование солевой компоненты композита, поскольку растворимость солей металлов с такими степенями окисления меньше, чем исходных солей. 2. Реакции восстановления ионов до соответствующих металлов: $Cu^{+2} + 2e^- = Cu^0$, $Fe^{+3} + 3e^- = Fe^0$, $Co^{+2} + 2e^- = Co^0$ обеспечивающие формирование нанопроволок.

Оба типа приведенных процессов протекают согласованно и с одинаковой линейной скоростью роста обеих компонент. Образование пространственного порядка в данной композиции может быть объяснено минимизацией суммы межфазной энергии упругих напряжений в растущей композиции и поверхностной энергии структуры.

Таким образом, обнаруженное явление представляет собой пример процесса самоорганизации, сочетающего в себе, по-видимому, черты диссипативной самоорганизации и консервативной самоорганизации.

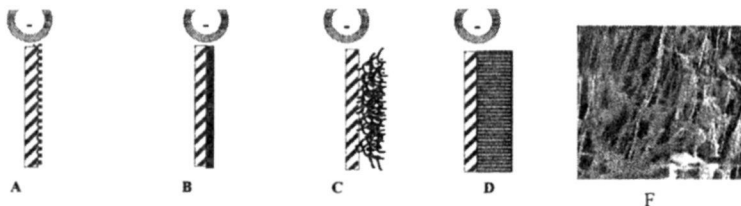


Рисунок 1

Варианты протекания электролиза в зависимости от условий электролиза

A – электроосаждение кристаллов соли при высокой концентрации компонентов.

B - осаждение металла при низких плотностях тока

C - образование дендритов металлов при высоких плотностях тока и низкой концентрации электролита.

D - образование композиционной структуры при высоких плотностях тока и высокой концентрации электролита. Рост покрытия – неограничен.

E – микрофотография массива волокон, полученных на образце с частично удаленной солевой матрицей.

Литература

1. W. Schwarzacher, O. I. Kasyutich, P. R. Evans, M. G. Darbyshire, Ge Yi, V. M. Fedosyuk//J. of Magnetism and Magnetic Materials. 1999.Vol.198-199. №1. P. 185.

СИНТЕЗ МЕТАЛЛ УГЛЕРОДНОЙ КОМПОЗИЦИИ ДЛЯ АККУМУЛЯТОРОВ ВОДОРОДА

Новиков В.П., Стецик А.Н., Филиппович С.Р.,

(ОИФТТП АН Б)

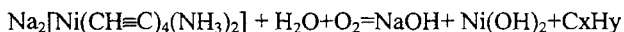
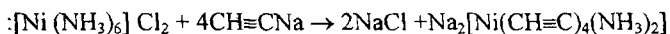
(БГАТУ), Минск

Водород, как универсальное, высокоэффективное и экологически чистое топливо, имеет неоспоримые преимущества по сравнению с другими энергоносителями, что открывает перспективы использования его в качестве топлива для транспортных средств. Однако до сих пор не решена проблема его хранения и транспортировки, что препятствует широкому его использованию. Традиционные способы его хранения, такие как накопление его в гидридах переходных металлов, или в сжиженном состоянии, не удовлетворяют требованиям, предъявляемым конструкторами транспорта к системам хранения

водорода как по содержанию водорода по массе. Поэтому разработка новых, более эффективных способов хранения водорода является важной задачей «водородной» энергетики.

В последние несколько лет появились сообщения о новых типах сорбентов для накопления и хранения водорода. Основным компонентом этих сорбентов служат нано-структурированные формы углерода, такие как нанотрубки, углеродные нановолокна, фуллерены и металло-углеродных композиций на их основе [1].

Нами предложен простой метод синтеза новых никель-углеродных композитов, предназначенных для химической и физической сорбции водорода. В основе синтеза положена реакция окислительной дегидроконденсации металл-ацетилидно-аммиачных комплексов синтезированных в среде жидкого аммиака. Металл-ацетилидный комплекс синтезировался путем взаимодействия моноацетилида натрия с хлораммиакатом никеля в среде жидкого аммиака в интервале -35--40С. Синтез протекал согласно следующим. уравнениям:



Трансформация данного комплекса в целевой продукт ($C_xH_yNi_z$) производилась путем нагревания данного вещества в, бескислородной атмосфере при температуре 150 °С. Данная композиция представляет собой пористый гранулированный материал, сохраняющий исходную структуру до 450-500 °С. Исследования методами ИК и КР спектроскопии показали, что данная композиция представляет собой трехмерно сшитую углеродную структуру, в котором двойные изолированные связи составляют около 30-40 % от общего числа углерод-углеродных связей. В углеродной компоненте распределены кластеры Ni.

Спектры инфракрасного поглощения образцов данной композиции заметно изменялись при насыщении образца водородом. В частности, площадь пика, соответствующего колебательной моде С-Н связи увеличивалась в 3- 4 раза (см рис 1). Это соответствует, по нашим оценкам, увеличению содержания водорода с 0,2 до 0,8 ат.% по отношению к углероду.

Спектры малоуглового рентгеновского рассеяния показали, что обе компоненты

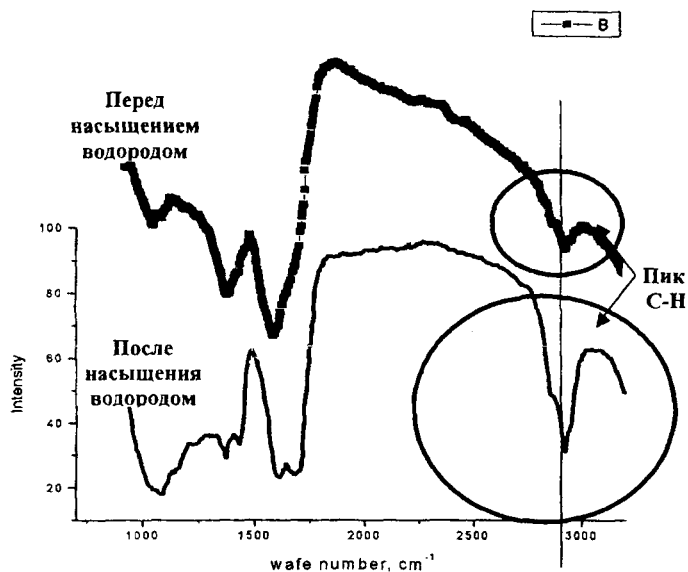


Рисунок 1 – Влияние насыщения водородом на IR –спектры композиции
Отношение Н/С составляет 0,7-1 после насыщения ;
Отношение Н/С составляет 0,2 после перед насыщением.
Температура десорбции водорода составляла 300-350 °С

данного композита находятся в нанодисперсном состоянии.

Благодаря наличию в структуре изолированных С=С связей и никеля, который является катализатором гидрирования, данная композиция обладает свойством связывать водород как за счет химического присоединения по двойным связям (хемосорбция), так и за счет физической сорбции материала. Сорбционная емкость данного материала по водороду достигает 7 масс.% при циклировании в интервале 25-300 °С.

На основании проведенных исследований мы заключили, что синтезированная нами композиция является перспективной при использовании в устройствах хранения водорода. Обладая сопоставимой с сорбентами на основе углеродных нановолокон сорбционной емкостью, это вещество имеет ряд потенциальных преимуществ по сравнению с ними, а именно: 1) простота и синтеза и высокий выход целевого продукта при получении данной композиции, 2) оптимальная для сорбента микроструктура; 3) сочетание химической и физической сорбции реализуемое в данном материале.

Литература

1. Hui-Ming Cheng, Quan-Hong Yang, Chang Liu/ Hydrogen storage in carbon nanotubes/ Carbon 39 (2001) 1447–1454

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО АККУМУЛЯТОРА ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА ДЛЯ ОБОГРЕВА ЖИЛЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

Русан В.И., (БГАТУ), г. Минск

Гудкова Л.К., Германович А.П., Пуляев В.Ф.

(РУНИП «ИМСХ НАН БЕЛАРУСИ»)

Введение в тепловую схему аккумуляторов тепла является одним из экономичных методов покрытия временных нагрузок. С помощью аккумуляторов тепла обеспечивается работоспособность ряда энергетических установок, использующих нетрадиционные источники, энергия которых непостоянна во времени. При выборе типа аккумулятора необходимо учитывать такие факторы, как способ подвода и отвода энергии, объем запасаемой энергии, уровни температур, длительность хранения, интенсивность теплопереноса, капитальные затраты и эксплуатационные расходы и требования к надежности и безопасности работы.

Низкотемпературные тепловые аккумуляторы на основе материалов фазового перехода могут найти применение для обогрева жилых и хозяйственных помещений как в плане их использования в индивидуальных домах, так и для создания средних по мощности квартальных котельных для поселков и т.п. Социологические исследования показывают, что трудозатраты сельского жителя в быту на 500 часов в год выше, чем у горожанина. Из всех качеств жилища сельский житель на первое место ставит высокий уровень бытовых удобств. Такие удобства можно обеспечить путем внедрения

теплоаккумулирующего оборудования для отопления и горячего водоснабжения жилых домов, производственных помещений, рассадных теплиц, оранжерей. Тепловые аккумуляторы могут быть установлены в любом месте. Они позволят осуществлять индивидуальное терморегулирование и дадут возможность создавать различные микроклиматические зоны в одном помещении.

Конструктивная схема разрабатываемого в институте теплового аккумулятора фазового перехода с пассивным теплообменом представлена на рисунке 1.

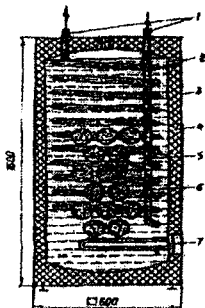


Рисунок 1 – конструктивная схема аккумулятора фазового перехода:

- 1 – вход и выход нагреваемой воды; 2 – змеевик; 3 – корпус; 4 – изоляция;
5 – вода; 6 – аккумулирующая соль, помещенная в полиэтиленовые капсулы; 7 – трубчатый электронагреватель

Это капсульный тепловой аккумулятор, представляющий собой резервуар, заполненный капсулами с теплоаккумулирующим веществом и омываемый теплоносителем. Размещение теплоаккумулирующего материала в капсулах обеспечивает высокую надежность конструкции, позволяет создавать развитую поверхность теплообмена, компенсировать (при использовании гибких капсул) изменение объема в процессе фазовых переходов. На основании проведенных исследований различных материалов для корпуса капсулы выбран прозрачный поливинилхлорид (диаметр капсулы 4,8 см, высота – 8,1 см). В качестве фазопереходных материалов для аккумуляции низкопотенциальной тепловой энергии выбраны мирабилит с температурой плавления 32°C и теплотой фазового перехода 242 кДж/кг , парафин с температурой плавления $42\text{--}44^{\circ}\text{C}$ и теплотой фазового перехода $187,8\text{ кДж/кг}$. Теплоаккумулирующие материалы на основе фазовых переходов («плавление – кристаллизация») аккумулируют в 5–10 раз больше тепла, чем материалы, не претерпевающие фазовых превращений.

Для отопления авторами предлагается электротеплоаккумулирующая система: аккумулирование солнечной энергии днем и избыточной электроэнергии ночью. В солнечные ясные дни при подводе тепла через рекуперативный теплообменник от солнечного коллектора теплоаккумулирующий материал сначала нагревается до температуры плавления, затем плавится, а после этого расплав нагревается до некоторой конечной температуры $t_{\text{кон}}$, при которой и сохраняется запасенное тепло (зарядка аккумулятора). В период потребления тепла по другому теплообменнику пропускается холодный теплоноситель от потребителей тепла. Нагретое вещество сначала охлаждается до температуры плавления, а затем затвердевает, отдавая тепло этому теплоносителю (при этом в процессе затвердевания температура в баке остается сравнительно высокой и практически постоянной), – разрядка аккумулятора. В процессе зарядки треть тепла отдается в помещение. В течение остального времени система только отдает тепло потребителю, в помещении поддерживается средняя температура воздуха 20 °С. Продолжительность хранения тепла 5–7 суток, тепловые потери – до 10 %.

В период прекращения солнечной радиации, с 23 часов до 6 часов утра, используется дешевая внепиковая электроэнергия (ночной тариф) для аккумулирования тепла в массиве теплоаккумулирующего материала. Включается дополнительный источник – трубчатый электронагреватель. Работой управляет микрокомпьютер «контроллер». Микрокомпьютер работает в двух режимах – накопление энергии и отопление. В первом режиме радиатор не задействован, во втором режиме подогреваемая вода поступает в радиатор.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ УСАДЕБНОГО ДОМА

Русан В.И. (БГАТУ); Германович А.П., Шаманович Е.И., Шкубель Н.А.,
Казак А.В. (РУНИП «ИМСХ НАН Б»), г. Минск

Для решения жилищной программы на селе в настоящее время разработаны проекты жилых домов в соответствии с Указом Президента Республики Беларусь от 30 августа 2005 г. №405 «О некоторых мерах по строительству жилых домов (квартир) в сельскохозяйственных организациях». Выпущен альбом паспортов усадебных жилых домов с улучшенными архитектурно-планировочными и потребительскими качествами (Мн.- Минсктиппроект, 2006).

Представлены 29 проектов одноэтажных, 2 проекта двухквартирных и 1 проект двухэтажного восьмиквартирного дома. В качестве строительного материала стен большинства домов используются газосиликатные блоки (23 проекта), для 7 проектов используется дерево и для 2 проектов – сборный железобетон.

Большинство из предлагаемых к застройке одноэтажных усадебных домов имеют общую площадь 75-80 м², три проекта – 80-90 м² и один проект дома площадью 120 м². Двухквартирные дома (2 проекта) рассчитаны на общую площадь 130-140 м².

Особое внимание при разработке проектов отведено решению вопросов энергообеспечения. Однако предложенные решения основываются только на традиционном подходе – получение тепловой энергии от установок на традиционном топливе (твердое, жидкое, газ), а электроснабжение предлагается от централизованной электросети.

Традиционный подход к проектированию жилых домов привел к большому расходу тепловой энергии на теплоснабжение. В представленных проектах норма энергопотребления на теплоснабжение составляет 200 кВт·ч/год·м² и выше (для сравнения в Германии, Швеции для современных жилищ норма 60 кВт·ч/год·м²).

В представленных проектах усадебных домов получение тепла, для отопления и горячего водоснабжения, предусматривается от котлов на твердом и печном топливе, газовых котлов и отопительных печей. Но этими архитектурно-планировочными решениями не учитывалась возможность использования возобновляемых источников энергии, в первую очередь солнечной энергии.

Типичным примером комплексного использования различных источников энергии является шведский проект энергоэффективного дома (рис. 1), представляющий собой дом – «теплицу», где эффективно используется энергия солнца для обогрева помещений, уменьшая расходы на топливо в 1,5-2 раза. Аналогичные проекты разрабатываются и в России (рис. 2).

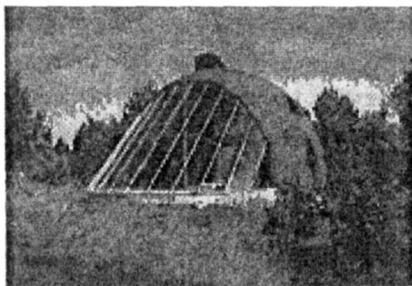


Рисунок - 1

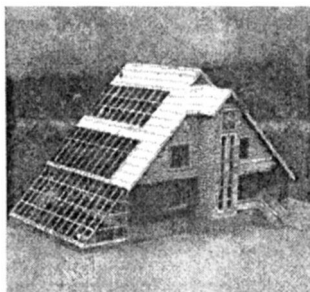


Рисунок - 2

Для климатических условий нашей республики энергоэффективное проектирование должно базироваться на теплофизической проработке архитектурной части проекта с целью придания отдельным фасадам и зданию в целом энергоактивных качеств.

Здание при этом приобретает свойства саморегулирования, благодаря которым получает в течение года от внешней среды оптимальное количество энергии при снижении тепловых сбросов и без перегрева в летний период. В таком здании инженерные системы представляются как составляющие единого архитектурно-энергетического комплекса - здания.

При разработке автономной системы электрообеспечения от возобновляемых источников (ветросолнечных электроустановок), существенное значение имеет как состав электрооборудования, так и графики суточного и сезонного потребления электроэнергии. В связи с этим, были проанализированы следующие параметры: потребная электрическая мощность, суточные сезонные графики и годовое потребление электрической энергии.

Суточное энергопотребление усадебных домов зависит от устанавливаемого электрооборудования и продолжительности его работы, и ориентировочно характеризуется величинами 3,0 кВт· час, 5,0 кВт· час и 7,5 кВт· час.

Использование комбинированных ветросолнечных систем для автономного энергоснабжения сельскохозяйственных потребителей Беларуси является наиболее подходящим сочетанием, как со стороны их свободной доступности, так и в виду их взаимодополняемости. В климатических условиях республики ветры более высоких скоростей преобладают в осенне-зимний период, а в весенне-летний период существенно возрастает потенциал

солнечной энергии, то есть спад одного природного энергоисточника совпадает с пиком другого.

Проведенные исследования по составу комбинированных систем электроснабжения в зависимости от прихода солнечной радиации и скорости ветра на большей части территории республики определили экономически целесообразное соотношение мощности ветро- и солнечных установок как 3:1.

Для электроснабжения усадебных домов с суточным потреблением 3,0, 5,0 и 7,5 кВт·час минимальные мощности системы ВЭУ+ФЭУ составят 1,0+0,3 кВт, 2,5+0,8 кВт, 4+1,3 кВт.

К ПРОБЛЕМЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЦА КАК ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ВОЗОБНОВЛЯЕМОГО ИСТОЧНИКА ЭНЕРГИИ

Соболь В.Р., (БГАТУ), Кириленко А.И., (МГВАК), г. Минск

Наряду с ядерной энергетикой и ископаемым органическим топливом существуют, так называемые, возобновляемые источники, ресурсы которых относят к геотермальному теплу Земли, энергии ветра, течения рек, морских приливов и др. По уровню температуры T термальные воды разделяют на низко – средние – и высокопотенциальные, из которых первые (T до 80°C) годятся только для горячего теплоснабжения, а остальные (T до 100°C и свыше 100°C) можно применять в электроэнергетике при вторичном низкокипящем носителе. При возрастании стоимости ископаемых ресурсов целесообразно привлекать энергию и других источников, в частности солнечного излучения. Выделяемая Солнцем мощность $3,8 \cdot 10^{26}$ Вт отвечает плотности потока на орбите Земли $1,35 \cdot 10^3$ Вт/м². В жарких странах на один квадратный метр приходит в среднем 250 Вт при максимальном значении 1000 Вт/м², а в умеренном поясе почти в два раза меньше. Однако указанные значения все же недостаточны для прямого применения (в современных парогенераторах плотность достигает 10^5 Вт/м²).

В работе приведены некоторые соображения по реализации фототермического способа преобразования энергии Солнца и производства низкопотенциального тепла (вода с T до $80 - 90^{\circ}\text{C}$ для отопления помещений и хозяйственных нужд) в простом варианте гелиоколлектора, содержащего элемент из светопоглощающего материала. К светочувствительным покрытиям таких нагревателей выдвигают ряд требований по их термо – и влагоустойчивости при многократном изменении температуры окружающей среды. Кроме

этого требуется удовлетворять требованиям технологичности при монтаже и эксплуатации, способности эффективного трансформирования энергии. В дополнение к уже существующим и разрабатываемым материалам чувствительных покрытий на основе диэлектрических стекломалевых материалов здесь обсуждаются возможности применения материалов с металлическим типом проводимости.

В соответствии с законами сохранения лучистая энергия любого источника при падении на поверхность тела претерпевает отражение, поглощение и частично проходит через среду. Металлы, обладающие большим числом свободных носителей, сильно отражают при частотах излучения ниже частоты плазменных колебаний. Нанесение на поверхность металлов оксидных слоев позволяет достигать эффекта зачернения, при котором излучение поглощается в широком диапазоне спектра. По результату действия такое явление напоминает процессы используемые при изготовлении летательных аппаратов, слабо уязвимых для радаров. На сильно развитой пористой поверхности, на которой сформированы световые ловушки луч претерпевает многократное отражение, прежде чем выйдет обратно, и попросту говоря теряется с поглощением энергии при малой доле отраженного излучения. Примером такого материала является сажа, которая имеет черный цвет из-за одинаково сильного поглощения излучения во всем видимом диапазоне. Сажа, тем не менее, не годится к формированию поверхностного чувствительного слоя ввиду низких свойств по теплопередаче, поскольку перешедшая в тепло энергия должна быстро отводиться с поверхности. С другой стороны, материал конвертора должен иметь малую теплоемкость, чтобы легко нагреваться. К веществам, обладающим сравнительно малой теплоемкостью и высокой проводимостью тепла относятся металлы. У них электронная составляющая теплоемкости ничтожна из-за сильного вырождения газа носителей заряда, то есть теплоемкость остается по величине одного порядка с теплоемкостью диэлектрика, а теплопроводность достаточно велика из-за большой скорости Ферми. Слой меди с окисдированной наружной поверхностью может вполне явиться чувствительным элементом преобразователя. Например, лист такого материала толщиной в 1 мм при экспонировании его нормально световому потоку с плотностью 300 Вт/м^2 в течение 100 с способен нагреться на 8°C . Энергия переданная теплоносителю, которым может явиться вода либо более низкокипящая жидкость – фреон, поднимет температуру такого же объема

жидкости на величину в 1.2 раза меньшую и в 1.6 раз большую для воды и фреона соответственно (теплоемкость меди, воды и фреона 0.38 кДж/кг, 4,182 кДж/кг К и 2,12 кДж/кг К). Данные оценки выполнены в приближении идеальной тепловой изоляции.

В более реалистичных условиях для оценки уровней разогрева жидкости под слоем конвертора используем нестационарное уравнение теплопроводности, которое запишем в одномерном приближении

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial t} = k \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + q - \lambda \frac{T - T_0}{d} \quad (1)$$

здесь c , k и ρ – удельная теплоемкость, теплопроводность и плотность материала теплоносителя, λ и d – теплопроводность и толщина слоя изолирующего материала, q – плотность теплового потока поступающего со стороны конвертора, T_0 – температура окружающей среды. При малой толщине слоя жидкости пренебрежем распределением температуры и используем граничное условие: в начальный момент времени температура равна T_0 . В этом случае решение (1):

$$T(t) = \frac{qd}{\lambda} \left(1 - e^{-\frac{\lambda}{dc\rho t}} \right) + T_0 \quad (2)$$

В соответствии с полученным решением (2) на рисунке 1 смоделирована кинетика изменения температуры слоя воды толщиной 10^{-3} м при эффективном поглощении мощности 100 Вт при некоторых значениях толщины изолирующего слоя. Как следует из Рис. 1, экспоненциальный характер поведения временной зависимости T вместо линейного связан с определенным самосогласованием задачи по температуре. То есть мощность отвода энергии также зависит от величины температуры, вернее ее перепада через слой изолятора даже в приближении постоянства градиента. Значения T насыщения выражаются только через параметры изолятора, что вполне разумно, поскольку именно этот материал отвечает за скорость установление динамического равновесия в стационарном состоянии.

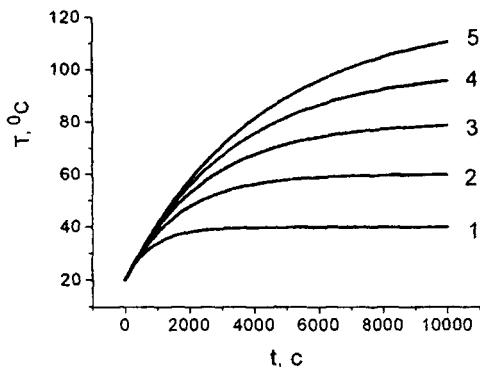


Рисунок 1 – Изменение температуры слоя воды толщиной 10^{-3} м при поглощении мощности 100 Вт/м^2 и значениях толщины изолирующего слоя d , м: 0,01 (1), 0,02 (2), 0,03 (3), 0,04 (4), 0,05 (5) и его теплопроводности $0,05 \text{ Вт/м К}$.

Данный приближенный расчет показывает возможности энергосбережения и скрытые резервы новых технологий при производстве теплоизоляторов на основе вакуумных пористых материалов.

Таким образом рассмотрение модельной задачи по эффективной передаче энергии Солнца через металлический конвертор жидкому теплоносителю показывает, что обычная изоляция типа войлока толщиной в 5 см позволяет поднять температуру миллиметрового слоя воды до $100 - 110 \text{ }^\circ\text{C}$ при плотности теплового потока 100 Вт/м^2 . На широте нашего государства средняя мощность в три-четыре раза выше и это, вероятно, скажется на скорости нагревания, однако ожидать трехкратного возрастания температуры, видимо, не следует. Во всяком случае, требуется дополнительный более детальный анализ процессов передачи тепла от самого конвертора теплоносителю и учета разогрева изолирующего слоя.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МИКРОВОЛНОВЫХ СВОЙСТВ ОКСИДНЫХ ИТТРИЕВЫХ СВЕРХПРОВОДНИКОВ МЕТОДОМ КООКСИАЛЬНОГО РЕЗОНАТОРА

Соболь В.Р., Магер Е.Л., Малишевский В.Ф., (БГАТУ) г.Минск.

Исследование высокотемпературных сверхпроводников целесообразно проводить не только на образцах в виде моно- и поликристаллов, но и в керамическом состоянии. Сведения, полученные на керамических образцах и

изделиях весьма важны, так как трудности синтеза монокристаллов, связанные со сложностью химического состава, и проблемы материаловедения данных веществ заставляют искать пути их практического использования в керамическом состоянии. Среди известных высокотемпературных сверхпроводников на сегодняшний момент наиболее привлекательными являются материалы на основе текстурированной керамики из $YBa_2Cu_3O_{7-x}$, как имеющие приемлемые значения плотности критического тока, захваченной магнитной энергии, верхнего критического магнитного поля. Как результат этот материал исследуют на предмет применения в электрических машинах нетрадиционного исполнения (двигатели, генераторы), силовых токнесущих элементах, бесконтактных подвесах, накопителях магнитной энергии, магнитных экранах, резонаторах и других устройствах не испытывающих деформаций при эксплуатации [1].

В сообщении представлены результаты изучения проводящих свойств материала на основе оксида иттрия для частотной области отвечающей дециметровому диапазону. Исследование было проведено на коаксиальных резонаторах, целиком выполненных из сверхпроводящего материала. Для изготовления образцов использовалась традиционная технология твердофазной реакции. Геометрические параметры резонатора, включая его форму, рассчитывали аналитически и корректировали экспериментально посредством измерения идентичного резонатора из алюминия.

При конструировании резонатора был модернизирован известный метод расчета параметров резонатора, позволивший получить алгоритм определения параметров резонатора с обеспечением механической прочности, технологичности изготовления и возможности его позиционирования в гелиевой полости криостата диаметром 5 см и длиной 15 см [2]. Применено графоаналитическое решение основного трансцендентного тождества, связывающего волновое сопротивление коаксиального отрезка с сопротивлением сосредоточенной емкости

$$\frac{2\beta_\lambda(L-l)\lambda^2}{\pi^2 d^2} = \ln \frac{D}{d} \operatorname{tg}(\beta_\lambda l)$$

здесь D , d и l – внешний, внутренний диаметры и длина коаксиального отрезка, λ – длина волны излучения, β_λ – волновое число ($\beta_\lambda = 2\pi/\lambda$), L – длина внутренней полости резонатора. Графическое решение этого уравнения

позволило определить резонансные значения $\beta_{\lambda l}$, когда общая приведенная длина $\beta_{\lambda l}$ и отношение D/d выступают как независимые параметры.

Изучение проводящих свойств материала методом регистрации затухания колебаний в области гелиевых - азотных температур в присутствии магнитного поля до 8 Тл позволило установить ряд закономерностей поведения поверхностной проводимости и соотнести их со свойствами материала на постоянном токе. Семейство температурных зависимостей затухания и поверхностной проводимости во внешнем магнитном поле, отражающее характер изменения омических потерь при возрастании температуры T от 4,2 до 60 К показывает, что магнитное поле увеличивает диссипативные процессы, подавляя влияние температурного механизма. Характерно, что поверхностное сопротивление $r(T)$ имеет отличное от экспоненциального поведение даже в нулевом магнитном поле, качественно совпадая с зависимостями, представленными другими авторами.

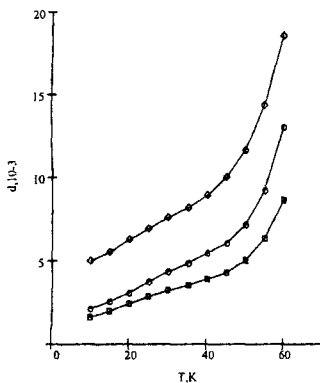


Рисунок 1 – Затухание высокочастотных колебаний как функция температуры в магнитном поле B , Тл: 0 (□), 2 (○), 7 (◇).

Поверхностное сопротивление в функции магнитного поля имеет две характерные области: сильный рост на начальном участке трансформируется в слабое изменение, близкое к линейному с малым углом наклона, вплоть до максимально достижимых величин $B = 8$ Тл. Границу между областями, которая приходится на 0.06 – 0.07 Тл, можно отнести к первому критическому полю, аналогично [3].

Характерно, что полученная в нулевом магнитном поле величина поверхностного сопротивления $\gamma \cong 2 \cdot 10^{-2}$ Ом превышает величину $\gamma = 4 \cdot 10^{-3}$ Ом, представленную другими авторами и измеренную на частоте 10^{10} Гц. Полученные результаты, тем не менее, не противоречат [4, 5], поскольку импеданс при 10 ГГц составляет $2 \cdot 10^{-2}$ Ом, что в четыре раза отличается от полученного здесь с учетом применяемой частоты $\cong 0.5$ ГГц.

Таким образом, микроволновое сопротивление высокотемпературной иттриевой керамики в области дециметровых волн (0.5 ГГц) при гелиевых температурах составляет сотые доли Ома и более чем на порядок превышает сопротивление Al, что соответствует гипотезе гигантского поглощения энергии сегнетоэлектрической фазой. Температурная зависимость поверхностного сопротивления отличается от классических представлений об экспоненциальном затухании при малости числа нормальных квазичастиц в условиях некантующего поля ввиду присутствия дополнительных механизмов поглощения. В магнитном поле импеданс обнаруживает область с вкладами от поверхностного и объемного смешанных состояний вблизи первого критического поля.

Литература

1. В.Б. Свездун, Т.А. Прихна, В. Гавалек и др. Актуальные проблемы физики твердого тела. Сборник докладов Международной научной конференции, г. Минск. – 2005. – Т. 2. – С. 36 – 39.
2. S.E.Demyanov, V.R.Sobol, A.A.Drozd, D.V.Pashik // Bull. Mater. Sci. – 1991. – Vol. 14, N 3. – P. 807 – 810.
3. А.С.Хейфец, А.И.Вейнгер, А.Г.Забродский и др. //ФГТ. – 1989. – Т. 31, Вып. 4. – С. 294 – 297.
4. А.С.Щербаков, М.И. Кацнельсон, А.В.Трефилов и др. // ФММ. – 1987. – Т.64, Вып.4. – С. 742 – 746.
5. В.Ф.Гантмахер, В.И.Кулаков, Г.И.Левиев и др. // ЖЭТФ. – 1989. – Т. 95, Вып. 4. – С. 1444 – 1449.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭЛЕКТРЕТНЫХ СТРУКТУР, СФОРМИРОВАННЫХ КОМБИНИРОВАННЫМ МЕТОДОМ

Сычик В.А., Ермакова О.А., (БНТУ) г. Минск

В докладе приводятся электрофизические свойства электретных структур, полученных комбинированным методом. Данный метод изложен в [1,2] и

представляет собой совокупность термических методов получения электретов и новых видов изотермического осаждения заряда.

Как показал обзор литературы, существуют следующие способы формирования электретов: методы изотермического осаждения зарядов, термическая электризация, электризация с использованием жидкостного контакта, фотоэлектретирование и другие [3,4].

Термоэлектреты получают помещением диэлектрика в электрическое поле при некоторой повышенной температуре с последующим охлаждением в этом поле.

Для получения коронозлектретов используют метод, в основе которого лежит перенос заряда из области электрического разряда в воздушном (газовом) зазоре на поверхность диэлектрика посредством коронного разряда. При их изготовлении может нарушаться электронейтральность диэлектрика. Преимуществом коронного электретирования являются простота аппаратуры и высокая производительность.

Радиоэлектреты формируют воздействием на диэлектрик электронного пучка, что приводит к инжекции электронов внутрь материала и образованию отрицательно заряженных слоев. Преимуществом метода является возможность создания необходимого поверхностного распределения заряда электрета путем сканирования электронного пучка.

При получении фотоэлектретов фотопроводящие материалы покрывают с одной или обеих сторон прозрачными электродами (тонкие пленки золота или окиси олова) и облучают ультрафиолетовым (иногда видимым) светом в присутствии электрического поля. После выключения света и снятия напряжения в диэлектрике обнаруживается сохраняющаяся со временем поляризация [3].

Другие способы формирования активных диэлектриков не используют из-за сложности процесса либо наличия других негативных факторов.

Предложенный комбинированный метод получения электретов, схема реализации которого приведена на рис.1, включает в себя поэтапную термообработку диэлектрического материала с одновременным воздействием на него электрических полей. Он позволяет получать электреты с более высокими электрофизическими свойствами по сравнению другими известными способами.

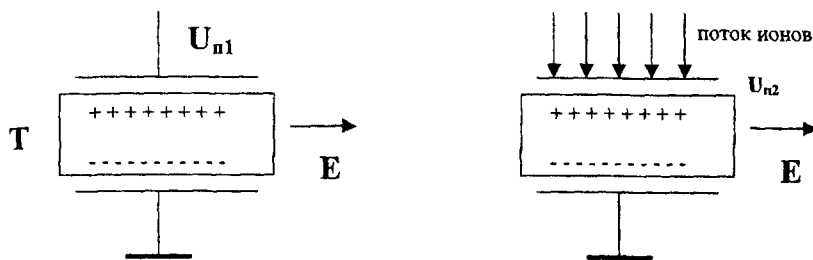


Рисунок 1 – Схемы реализации комбинированного метода формирования электретов

Измерение параметров свежеприготовленных образцов и образцов в процессе хранения производилось методом вибрирующего электрода.

Численные значения основных параметров и сравнительные характеристики синтезированных при разных условиях электретов представлены в таблице 1. Условия получения электретов новым комбинированным методом и их свойства приводятся в таблице 2.

Таблица 1 – Свойства электретов, полученных разными способами

Материал образца	Среднее значение разности потенциалов $U_{0,ср}$ электретов, полученных разными способами:		
	термоэлектретирование	коронирование	новый способ электризации
фторопласт, 0.5-0.8мм	1850 В	1650 В	2400 В
полиметилметакрилат, 0.8-1 мм	2000 В	1900 В	2600 В
стеклотекстолит, 1.5-2 мм	1600 В	1450 В	2000 В

Таблица 2 – Условия получения электретов новым методом и их свойства

№ примера	Толщина пленки	Условия термообработки						Начальная электретная разность потенциалов $U_0, В$	Разность потенциалов после 100 суток хранения $U, В$
		$T, ^\circ C$	$\tau_{\text{т}}, \text{мин}$	$U_{n1}, \text{кВ}$	$\tau_{n1}, \text{мин}$	$U_{n2}, \text{кВ}$	$\tau_{n2}, \text{мин}$		
1	0.8	220	15	2	1.5	30	1	2500	2100
2	0.5	220	15	2	1.5	30	1	2450	2050
3	0.2	220	15	2	1.5	30	1	2000	1800
4	0.3	220	15	2	1.5	30	1	2100	1850
5	0.8	200	30	2	1.5	15	1	1950	1750
6	0.8	200	30	2	1.5	20	1	1980	1850
7	0.2	200	30	2	1.5	20	1	2000	1850

Как следует из полученных экспериментальных данных, на основе полученных указанным методом электретных структур разработаны преобразователи электрической энергии, позволяющие получать на выходе мощность в десятки и даже сотни Ватт.

Выводы:

- предложенный комбинированный метод, включающий в себя попеременное воздействие на образец коронным разрядом под действием температуры, позволяет значительно повысить электрофизические свойства синтезируемых электретных структур;

- результаты экспериментальных исследований показали, что предложенный метод позволяет формировать электреты, поверхностная плотность заряда и разность потенциалов которых в 1.5 и более раз выше, чем у прототипа и аналогов;

- электретные источники энергии на основе электретов, синтезированных предложенным методом, обладают высокими электрофизическими свойствами.

Литература

1. Сычик В.А., Ермакова О.А. Технология получения активных диэлектриков комбинированным методом // Материалы 61-й научно-техн. конференц. препод., научн. раб., аспирантов и студ. приборостроит. специальностей «ПРИБОРОСТРОЕНИЕ» – Мн.: «Технопринт», 2005. – С.69-72.

2. Сычик В.А., Ермакова О.А. Прогрессивный метод формирования активных структур для электретных преобразователей тока / Материалы 3-ей МНТК «Аграрная энергетика в XXI столетии», - Мн.: «Технопринт», 2005. – С.246-248.

3. Электреты / Под ред. Сесслера Г. - М.: Мир, 1983. - 487 с.

4. Губкин А.Н. Электреты. - М.: Наука, 1978.- 192 с.

ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ В АПК – ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Фалюшин П.Л., Ловкис В.Б., Бохан Н.И., Гаяль И.А. (БГАТУ) г. Минск

Для Беларуси энергетическая проблема особенно острая: энергоемки отрасли промышленности лишь 10...13% могут удовлетворить свои потребности энергетическими ресурсами страны.

Потребность в освоении и развитии альтернативных и возобновляемых источников энергии по мере возрастания потребности в топливе, особенно

нефти и газе, становится все более очевидной. К энергетически чистым альтернативным возобновляемым источникам энергии, которые имеют место и могут быть использованы в Республике Беларусь, относятся: энергия солнца, ветра, малых рек и водосбросов, различных видов биомассы; низкопотенциальное тепло земли, рек, озер. Указанные источники энергии имеют свою нишу и не могут заменить базовую энергетику. Они могут быть лишь дополнением к ней, но в то же время могут дать весомый вклад в энергобаланс республики. С целью уменьшения зависимости от импорта топливных ресурсов в республике проводится работа по увеличению объема использования местных и альтернативных видов топлива.

За счёт биомассы в мире покрывается до 14% всей потребности в энергетических ресурсах. По оценкам биомасса в XXI веке станет одним из важнейших возобновляемых источников энергии. В развивающихся странах на её долю приходится 35% всей расходуемой первичной энергии, а в отдельных районах - 90% [1]. Потенциальный запас биомассы в Беларуси оценивается на уровне 1620 т.у.т в год. Из других видов местного топлива возможно использование торфа (4000 млн. т), лигнина (1,3 млн. т.у.т в отвалах и ежегодное производство свыше 200 тыс. тонн) [2]. Однако, данное направление пока не получило широкого применения по причинам недостаточной научной наработки и отсутствия эффективных и экологически безопасных технологий. Дальнейшее развитие тематики открывает разнообразные возможности применения в нашей Республике потенциальных ресурсов биотоплива.

Анализ существующих методов использования биотоплива показал, что наиболее предпочтительными являются методы термической переработки: сжигание, пиролиз и газификация. Процессы газификации и пиролиза имеют некоторые преимущества по сравнению с прямым сжиганием: уменьшается объем отходящих газов, имеется возможность использовать генераторный газ для получения других видов энергии [2].

Работы по этой проблеме проводятся в России, Франции, Германии, Бельгии, Канаде и других странах. Газификация твердых топлив, к которым относится сухая биомасса, представляет процесс превращения твердых топлив при высокой температуре в присутствии окислителя (газифицирующего агента) в горючий газ, состоящий главным образом из CO и H₂.

Термохимический КПД установок газификации для различных видов топлива находится в пределах 70-75% при использовании в качестве окислителя

воздуха. Повышается до 85-90% при использовании паровоздушного дутья или кислорода, либо при подаче газа на сжигание без его охлаждения [2].

Действующие газогенераторы малой (до 100 кВт), средней (100-1000 кВт) и большой (более 1000 кВт) мощности предназначены для выработки электроэнергии, горючего газа, сжигаемого в топках и печах; для производства синтез-газа; выработки метанола или получения жидкого топлива.

На базе газогенераторов могут быть сооружены паротурбинные ЭС, дизельные установки, работающие на генераторном газе .

В настоящее время проводятся работы по использованию в энергетике отходов растениеводства, полимерных отходов, в том числе изношенных шин автотракторной техники. Однако, некоторые существующие технологии по совместному сжиганию торфа и измельченных изношенных шин экономически малоэффективны и экологически не безопасны. Причинами тому являются значительны затраты на подготовку самого сырья и недостаточное обоснование режимов горения.

На данном этапе проводится разработка экологобезопасных технологий и оборудования для сжигания полимерных отходов в смеси с горючими отходами растениеводства. Анализ влияния свойств исходного топлива и полимерных добавок на качественные показатели процессов горения и газификации, а так же состав генераторного газа, необходим для дальнейшей работы. А именно: для выбора оптимального состава топлива и определения технологии по ее сжиганию в газогенераторных установках с соответствующим усовершенствованием конструкции.

Предлагается разработка технологии сжигания горючих отходов, позволяющей реализовать процесс горения с повышенной температурой дымовых газов и окислением экологически опасных выбросов.

Внедрение данной технологии позволит увеличить эффективность процесса, и позволит решить ряд вопросов. Вовлечение в энергетику АПК местных видов топлива, экономия импортируемого топлива и так же частично решается проблема утилизации полимерных отходов.

Литература

1. Левченко С.А. Возможности применения нетрадиционных источников энергии в Беларуси. – НАНБ, 1998.

2. Соловьев В.Н., Бида Л.А. Отработка элементов газификации местных видов топлива органических отходов в обращенном режиме. - Минск, 2003.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭМИССИОННЫХ СВОЙСТВ УГЛЕРОДНЫХ ПЛЕНОК

Филипп А.Р., (БГУ), Кулешов А.К., (БГАТУ), г. Минск

В настоящее время во всем мире наблюдается все возрастающий интерес к созданию тонкопленочных углеродных покрытий. Их механические, электрические и оптические свойства уже достаточно хорошо изучены и широко используются. Другие же – такие, как эмиссионные, привлекли к себе внимание относительно недавно и перспективы от их применения выяснены еще не в полной мере. Достаточно сказать, что лишь в последние несколько лет появились первые сообщения [1] о создании прототипа «холодильного чипа», который уже в ближайшее время сможет произвести революцию в производстве холодильного оборудования самого различного назначения - от охлаждения микроэлектронных устройств, например, фильтров приемных антенн сотовой связи, высококачественных инфракрасных приборов ночного наблюдения, до бытовых холодильников.

В настоящей работе исследованы силовая и термоэмиссия электронов с поверхности углеродных пленок, специально предназначенных для использования в телевизионных устройствах и рассмотрена возможность их применения в теплоэнергетических преобразователях.

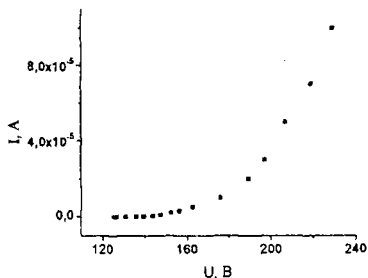
Для проведения данной работы была разработана и сконструирована экспериментальная установка. Уникальность созданной установки заключается в том, что в процессе измерения полевой эмиссии электронов образец может подвергаться контролируемому нагреву до температуры 700 °С, и это не приводит к заметному изменению сигнала, который остается постоянным в пределах уровня шума ($<10^{-10}$ А). Такие результаты были достигнуты благодаря тщательному подбору материалов, выдерживающих высокие температуры и характеризующихся малым давлением остаточных паров.

В сравнении с образцами, исследованными ранее [2], данные материалы обладают рядом преимуществ:

- Плотность тока эмиссии электронов достигает высоких значений при значительно более низком напряжении.
- Нет необходимости активирования поверхности пленок перед их использованием в качестве эмиттера даже после длительной выдержки на воздухе.

• ток эмиссии стабилен в широком диапазоне температур и приложенных напряжений.

На рисунке 1 представлена зависимость тока электронной эмиссии от приложенного напряжения.



Она подчиняется закону Фоллера-Нордгейма:

$$I = bE^2 \exp(-a\phi^{1.5}/\beta E) \quad (1)$$

где I – плотность тока в A/m^2 ,

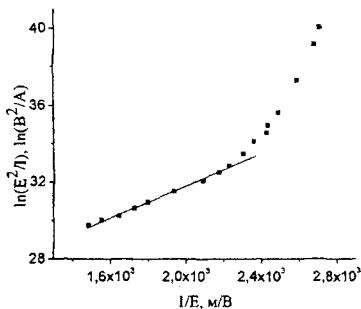
ϕ – работа выхода электрона в эВ,

E – напряженность электрического поля в В/м,

β – коэффициент усиления поля для шероховатой поверхности,

a и b – некоторые постоянные

На рисунке 2 – та же зависимость в координатах $1/E$ и $\ln(I/V^2)$ выглядит линейно на участке $155 \text{ В} < U < 230 \text{ В}$, что указывает на имевшее место в этом диапазоне напряжений тунелирование электронов с поверхности пленки:



Для определения работы выхода электронов с поверхности пленки в вакуум была исследована зависимость тока термоэлектронной эмиссии от температуры.

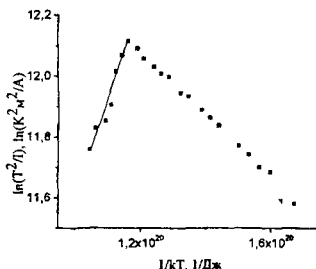
Полученные результаты, представленные на рисунке 3, дали возможность определить по формуле Ричардсона-Дешмена: $I = AT^2 \exp(-\frac{\varphi}{kT})$

где T- абсолютная температура образца,

k- постоянная Больцмана,

A- некоторая постоянная

работу выхода электронов $\varphi \approx 0,2$ эВ для диапазона температур $335^\circ\text{C} < T < 420^\circ\text{C}$.



Это значение существенно меньше, чем $\varphi=1-1,5$ эВ – данные, наиболее часто приводимые в литературе [3]. Такое расхождение, вероятно, обусловлено тем, что полноценная методика оценки работы выхода предполагает спектральные измерения в диапазоне жесткого ультрафиолета.

Если же воспользоваться литературными данными как наиболее вероятными, то получается, что мощность охлаждения панели размером 50x50 мм составит 1 Вт при токе эмиссии 1 А. Если зазор анод-катод равен 50 мкм (легко реализовать в экспериментальном устройстве с помощью слюдяной прокладки), то напряжение на устройстве составит 500 В. Эти параметры устройства вполне легко реализовать.

Литература

1. US Patent № 6,593,683 2005 г.
2. V.M. Anishchik, V.V. Uglov, A.K. Kuleshov, A.R. Filipp, D. P.Rusalsky, M.V. Astashynskaya, M.P.Samtsov, T.A.Kuznetsova, F. Thièry, and Y. Pauleau Electron field emission and surface morphology of a-C and a-C:H thin films // Thin solid films, 482, 2005, 248-252.
3. F.Y. Chuang, C.Y. Sun, I.N. Lin //Appl. Phys. Lett –1996. – V.68. – P.1666.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ЭМИССИОННЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВАХ

Филипп А.Р., (БГУ), Кулешов А.К., (БГАТУ), г. Минск

Проблема, с которой неизбежно сталкиваются разработчики холодильных устройств, работающих на эмиссионном принципе, это необходимость учитывать взаимоисключающие требования – малое расстояние между катодом и анодом при одновременной электрической и тепловой изоляции их друг от друга. До сих пор не предложена удовлетворительная конструкция ячейки «теплоэлектронного» преобразователя энергии, нет и общепринятой методики оценки эффективности использования углеродных материалов в таких холодильных устройствах.

Основной параметр, которым определяется работоспособность холодильного устройства – мощность охлаждения. Зададим ее на уровне 0,5-1 Вт для панели размером 50х50 мм. Конечно, такая мощность далека от требуемой для коммерческого использования, но вполне удовлетворительна для экспериментальной модели устройства. Принимая во внимание, что работа выхода электронов в вакуум из углеродного материала составляет 1 эВ [1], получается, что ток эмиссии должен составлять величину 0,75 А, а плотность тока эмиссии – 300 А/м². Оценки, проведенные для материала, описанного в [2], показали, что такая плотность тока из лучших образцов углеродных пленок, предназначенных для использования в телевизионных устройствах, достигается при напряженности электрического поля на уровне 10⁷ В/м. Если зазор анод-катод ограничен толщиной слюдяной пластинки – 50 мкм (легко реализовать в экспериментальном устройстве), то напряжение на устройстве составит 500 В – оптимальное значение с точки зрения опасности электрического пробоя и простоты конструкции.

Исследуемый образец имеет площадь поверхности 8х5 мм, что позволяет крепить его на стандартном криостате. Мощность охлаждения и ток эмиссии составят 17 мВт и 12мА, соответственно. Мощность тепловыделения на аноде при этом составляет: $P = UI = 500 \cdot 0,012 = 6 \text{ Вт}$

Достаточно большая цифра для устройства размером 8х5 мм и следует поэтому ожидать его разогрева до высоких температур, что приведет к нагреву эмиссионного катода и уменьшению к.п.д. всего холодильного устройства. Обычно в таких случаях применяют импульсный метод включения, чтобы уменьшить время разогрева и температуру нагретой поверхности. Если же предполагается проведение измерений в постоянном режиме, то необходимо организовать хороший отвод тепла. С этой целью в установке анод плотно прижат к площадке криостата и

температура его наружной поверхности близка к температуре жидкого азота $T_N = 80$ К (с поправкой на переходную теплопроводность и нелинейные эффекты).

Температура поверхности анода, обращенной к катоду, составляет: $T = \frac{I_q l}{\chi} + T_N$

где $I_q = P/S$ – поток тепла, приносимый на анод эмитированными электронами (S- площадь анода), l – толщина анода (2 мм), χ – коэффициент теплопроводности материала анода. При использовании электрокерамики, эта температура не превысит 100-110 К.

Тогда обратный тепловой поток от анода к катоду, связанный с излучением, вычисляется по формуле: $P = \sigma \cdot (T - T_N)^4 S$

где σ – постоянная Стефана-Больцмана, S- площадь нагретой поверхности

анода.

Расчет дает значение $P < 3 \cdot 10^{-4}$ Вт = 0,3 мВт, что пренебрежимо мало по сравнению с мощностью охлаждения холодильного устройства и не сказывается на результатах измерений. Еще один обратный канал потока тепла обусловлен теплопроводностью элементов конструкции, в первую очередь, слюдяной шайбы. В условиях лаборатории трудно изготовить шайбу, площадь поверхности которой, соприкасающаяся с катодом, будет меньше, чем 0,01S. Учитывая, что теплопроводность слюды в 100 раз меньше теплопроводности керамики, а ее толщина – 50 мкм, получим, что мощность теплового потока от нагретого анода в направлении катода, связанная с теплопроводностью, составит 20-30 мВт, что по порядку величины соответствует «полезному» потоку в обратном направлении.

На рисунке 1 представлена схема метода и картина потоков тепла в измерительном устройстве.

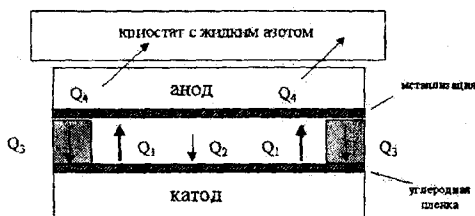


Рис. 1 Схема экспериментального устройства для методики оценки эффективности охлаждения эмитирующей электроны углеродной пленки.

Q_1 – «полезный» поток тепла, уносимый с катода эмитируемыми электронами

Q_2 – радиационное излучение разогретого анода.

Q_3 – обратный поток тепла через слюдяную шайбу.

Q_4 – поток тепла к криостату, охлаждающий анод.

Мы предлагаем способ измерения, который позволяет исключить влияние этого «паразитного» потока без значительного усложнения конструкции. Для этого применяем в качестве анода кремниевую пластину, нижняя (обращенная к катоду) поверхность которой металлизирована и имеет два электрических контакта для подключения к источнику постоянного тока.

Пропуская через металлизированный слой электрический ток в одном случае и эмиссионный ток электронов – в другом, мы с помощью такого дифференциального метода можем измерить величину «холодильного эффекта», поскольку во втором случае, при сохранении всех тепловых потоков в неизменном виде, к ним добавляется отток тепла, уносимого электронами с катода. По уменьшению температуры катода, измеряемой чувствительным термометром, можно судить об эффективности холодильного устройства.

Важно только, чтобы джоулева мощность электрического тока, пропускаемого вдоль металлизированного слоя анода, была равна мощности, приносимой на анод эмитированными электронами.

Литература

1. F.Y. Chuang, C.Y. Sun, I.N. Lin //Appl. Phys. Lett. –1996. – V.68. – P.1666.
2. Филипп А.Р., Кулешов А.К. Исследование эмиссионных свойств углеродных (см. Материалы данной конференции).

ЭКОНОМИЯ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ В ПРОЦЕССЕ ОБКАТКИ ДВИГАТЕЛЕЙ

Андруш В.Г., Носко В.В. (БГАТУ) г. Минск

Прогнозы развития транспортной энергетики на ближайшие годы показывают, что традиционные двигатели внутреннего сгорания (ДВС), работающие на жидком топливе, будут оставаться основными и потреблять до 80% энергоресурсов, расходуемых на транспорт, аналогичная ситуация и в сельскохозяйственном производстве.

В значительной мере качество ремонта двигателей снижается в результате их плохой и неполной приработки по различным и неоптимальным режимам.

Время приработки двигателей не может быть одинаковым, так как механические свойства поверхностного слоя деталей, чистота поверхности, размеры, значения натягов и зазоров в узлах подвержены статистическим вариациям. Качество приработки определяется не столько временем стендовой обкатки, сколько значениями параметров двигателя, например, мощностью механических потерь на трение. Таким образом, каждый конкретный двигатель будет иметь "свое" время приработки. И чем выше технологическая культура предприятия, тем меньше средняя продолжительность и рассеяние времени приработки.

Отсутствие развитой теории, обосновывающей режимы обкатки двигателя, привело к разработке экспериментальных методов поиска режимов приработки.

Назначение длительности обкатки в зависимости от исходного технического состояния двигателя позволяет сократить среднее время обкатки, сэкономить топливно-энергетические ресурсы, снизить выбросы в атмосферу и сократить время пребывания рабочего во вредных условиях.

Исследованию механических потерь ДВС в настоящее время хотя и посвящено большое количество работ, однако большинство из них устанавливают зависимость этих потерь от одного, максимум от двух одновременно факторов. Поэтому представляет интерес проведение математического планирования и многофакторного эксперимента с увеличением числа факторов с целью изучения их влияния на мощность механических потерь двигателя ЯМЗ-236 в процессе обкатки после капитального ремонта.

Из анализа литературных источников и по результатам однофакторных экспериментов выделены для дальнейшего исследования следующие факторы:

- частота вращения коленчатого вала – n ;
- температура масла двигателя – T_m ;
- средняя скорость изменения мощности механических потерь – \bar{v} ;
- мощности механических потерь в начале обкатки – $N_{0мп}$.

Фактор n – частота вращения коленчатого вала, исключаем из рассмотрения, поскольку контроль мощности механических потерь осуществляем на одной фиксированной частоте вращения коленчатого вала.

Численные значения и диапазон варьирования факторов определены в соответствии с руководством по капитальному ремонту, технологическими характеристиками двигателя ЯМЗ-236 после ремонта, и производственным опытом Минского АРЗ.

Для построения и анализа регрессионной модели были использованы результаты опытов, выполненных по плану полного трёхфакторного эксперимента и композиционному плану. Значение уровней и интервалов варьирования приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Кодирование варьируемых параметров

Кодовые обозначения факторов	x_1	x_2	x_3
Варьируемые параметры	$N_{0мп}$	\bar{v}	T_m
Единица измерения	кВт	Вт/мин	°С
Основной уровень ($x=0$)	9,06	22,5	75
Единица варьирования	0,65	4,5	20
Нижний уровень ($x=-1$)	8,41	18	55
Верхний уровень ($x=+1$)	9,72	27	95

Задание режимов обкатки и измерение требуемых параметров осуществлялось на обкаточно-испытательном стенде КИ-5574.

Нахождение коэффициентов математической модели проведено классической методике регрессионного анализа.

$$Y = 7,21 + 0,47X_1 + 0,21X_2 - 0,3X_3 + 0,18X_1X_3$$

Проверка адекватности модели проведена по критерию Фишера

$$F = \frac{s_{aa}^2}{s^2 \{y\}} = 0,11 < F_{\alpha, v_a, v_y} = 2,33. \text{ В явном виде уравнение имеет вид}$$

$$Y = 7,21 + 0,47(1,53 N_{0мп} - 13,84) + 0,21(0,22 \bar{v} - 5) - 0,3(0,05T_m - 3,75) + 0,18(0,05T_m - 3,75)(1,53 N_{0мп} - 13,84)$$

Поясним физический смысл математической модели. Полученное уравнение показывает взаимосвязь мощности механических потерь двигателя в конце обкатки с такими факторами, как мощность механических потерь в начале обкатки, температура масла в процессе обкатки и средняя скорость изменения мощности механических потерь. На параметр оптимизации перечисленные факторы влияют пропорционально, на что указывают линейные эффекты. С увеличением значений факторов $N_{\text{омп}}$ и \bar{v} мощность механических потерь увеличивается, а с увеличением температуры – снижается. Наибольшее влияние оказывает $N_{\text{омп}}$, наименьшее – \bar{v} . Парное взаимодействие $N_{\text{омп}}$ и $T_{\text{м}}$ не оказывает значительного влияния.

Минимальное значение мощности механических потерь двигателя в конце обкатки $N_{\text{мп}} = 6,49$ кВт достигнуто при $N_{\text{омп}} = 8,41$ кВт, $\bar{v} = 18$ Вт/мин, $T_{\text{м}} = 95^{\circ}\text{C}$.

На основании полученных результатов был разработан обкаточно-испытательный стенд, позволяющий в автоматическом режиме в зависимости от мощности механических потерь в начале обкатки и температуры масла достичь в конце обкатки мощности механических потерь, соответствующей области обкатанных двигателей с максимальной скоростью, то есть назначать длительность обкатки в зависимости от технического состояния каждого конкретного двигателя. Это позволило сократить длительность обкатки в среднем на 15% с экономией топлива, масла, электрической энергии.

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НА НИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ

Баран А.Н. (УП «ЭБТА-электро»), г. Минск

Биотехнология – важнейшее направление развития современной науки, техники и производства, особенно важна в условиях сельскохозяйственного производства. При этом важно сочетание традиционных методов и способов с современными возможностями нанотехнологий. Особенностью формирования биотехнологических объектов в процессе их возникновения и развития являются обменные процессы, сопровождающиеся переносом и перераспределением ионов и их сочетаний (комплексонов, агломератов и т. д.). Сущность нанотехнологий сводится к воздействию через элементарные частицы, атомы,

молекулы на систему в целом для изменения ее свойств в заданном направлении.

Однако существующие теоретические воззрения не охватывают процессов взаимодействия электрического тока с органическими средами, т.к. посвящены или описанию процессов на электродах и приэлектродных областях (электрохимия), или макроэффектам (электрофорез, электроосмос), или передаче информации (нейрохирургия). В то же время исследования многих ученых, в том числе и выполненные в течение ряда лет автором с сотрудниками, указывают на наличие ряда глубинных изменений в процессах и продуктах, необъяснимые классическими теориями. Так при воздействии электрического тока на дрожжевые клетки в процессе их роста изменяется не только их масса (выход), но и аминокислотный состав, что позволяет утверждать о принципиальной возможности управления процессами синтеза. Аналогичные результаты наблюдались при очистке сточных вод молокоперерабатывающих предприятий, получении биогаза, обработке различных продуктов сельскохозяйственного производства (соломы, зерна, картофеля, свеклы, яблок и т. п.).

Выполненные исследования позволяют предполагать наличие электрохимических процессов не только на электродах, но и в объеме, при этом в качестве микроэлектродной системы выступают клетки микроорганизмов-продуцентов или органических веществ. Однако при их описании и моделировании имеются существенные различия, обусловленные наличием у «живых» субъектов процессов активного транспорта, который может быть смоделирован источником ЭДС, имеющим потенциал и направление, изменяющиеся под воздействием электрического тока. В первом приближении модель может базироваться на уравнениях Ходжкина-Хаксли, однако важно учитывать весь комплекс явлений в системе. Предложена модель системы с учетом концентрации объектов воздействия и наличием у биологических объектов лаг-фазы. Приведены результаты численных экспериментов по оценке воздействия на биотехнологические процессы электрического тока различной частоты и формы. Показано, что изменение частоты и формы тока может существенно изменить долю технологического действия электрического тока при обработке органических сред.

ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПТИЦЕВОДСТВЕ

Бохан В.В., Бохан Н.И., Мелещенко Б.А. (БГАТУ) г. Минск

Государственной программой возрождения и развития села на 2005 – 2010 предусмотрено осуществить реконструкцию и переоснащение 51 птицефабрики в республике до 2010 года и практически на 100% увеличить производство мяса птицы до 200 тыс. Предусмотрен ряд мероприятий по увеличению годовой продуктивности предприятий. Только в Минской области за этот до 2007 года предусмотрена реконструкция и переоснащение 15 птицефабрик (по республике – 51).

Для того чтобы выполнить поставленные задачи необходимо использовать наукоёмкие технологии, которые должны в первую очередь обеспечить снижение удельных расходов на производство продукции, особенно это касается необходимого сокращения энергетических затрат на единицу продукции. В настоящее время это особенно актуально из-за постоянного возрастания стоимости энергетических ресурсов. За последние 5 лет стоимость нефти увеличилась более чем в пять раз. Это может привести к значительному увеличению доли затрат энергии в себестоимости продукции и естественно снижает конкурентоспособность продукции.

Наиболее реальными путями снижения расходов энергии на птицеводческих предприятиях является использование в производственных помещениях вентиляционного оборудования с рециркуляцией воздуха в производственных помещениях и модернизация системы освещения с использованием светодиодных ламп.

Рассмотрим основные аспекты использования рециркуляции воздуха в производственных помещениях птицефабрик. Частичное использование тёпло-

го воздуха помещений птичников возможно лишь при очистке воздуха от пыли и обеззараживании от микрофлоры. В зависимости от времени года эффективность рециркуляции воздуха определяется градиентом температур наружного воздуха и внутреннего и составляет до 20 – 40 % от объёма помещения. Рециркуляция воздуха должна улучшить условия содержания птицы с ветеринарной и санитарной точки зрения. Наиболее приемлемым способом использования рециркуляционных установок является размещение их наиболее проблемных местах. Так исследования воздуха рабочей зоны, проведенные институтом санитарии и гигиены на ряде птицефабрик, показали неодинаковое загрязнение воздуха пылью производственных помещений. Поэтому возможно

использование локальных установок для обеспыливания воздуха. Очевидна актуальность поставленной задачи, если учесть, что 1 грамм пыли содержит свыше 2,5 миллиардов бактерий и обладает очень сильными аллергенными свойствами.(1) Снижение содержания пыли воздухе улучшает условия содержания птицы и обслуживающего персонала. В настоящее время разрабатываются малогабаритные установки для локальной очистки воздуха от пыли с использованием природных органических сорбентов на основе модифицированного торфа. Торф обладает бактерицидными свойствами и его использование позволяет снизить бактериальное загрязнения птичника

В Белорусском государственном аграрном техническом университете установка, которая предназначена для очистки и обеззараживания воздуха производственных помещений птицефабрик от аммиака и микрофлоры. Особенно эффективно это оборудование может использоваться в отопительный период, когда по существующей технологии подаваемый воздух необходимо подогревать. При использовании такого оборудования воздух очищается от вирусов, бактерий, плесени, грибов и другой микрофлоры. Снижается уровень заболеваемости птицы, и соответственно уменьшаются расходы на необходимые для их лечения и профилактики на ветпрепараты.

К ВОПРОСУ О ЧИСЛЕ ПАЗОВ ЗУБЧАТОГО МАССИВНОГО РОТОРА АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Гурин В.В. (БГАТУ) г. Минск

О необходимости разработки специальных роторов (зубчатых массивных или двухслойных) для асинхронных электродвигателей и об эффективности их использования для приводов многих рабочих машин указывается в работах [1]...[5] и других.

Однако вопрос о числе пазов зубчатого массивного ротора до конца не решен. Оптимизация зубцовой зоны массивного ротора является сложной задачей.

В [6] такая оптимизация проведена путем расчета параметров и характеристик на основе массивно-клеточной модели зубчатого ротора. Однако эта методика не пригодна для инженерных расчетов.

В работе [7] того же автора предложен более простой путь. Он основан на оптимизации по качественным критериям. Однако, как будет показано ниже, расчетные и опытные значения оптимального числа пазов согласуются неудовлетворительно.

Данная работа посвящена оптимизации числа пазов величине электромагнитного момента.

Известно, что вращающий момент асинхронного двигателя определяется выражением:

$$M = C_m \Phi_m I_2' \cos \psi_2 \quad (1)$$

где $\cos \psi_2$ – коэффициент мощности ротора;

Φ_m – магнитный поток, Вб;

I_2' – приведенный ток ротора, А;

C_m – коэффициент, определяемый по выражению (2):

$$C_m = m_1 K_{об1} p / \sqrt{2} \quad (2)$$

где m_1 – число фаз двигателя;

$K_{об1}$ – обмоточный коэффициент;

p – число пар полюсов.

Магнитный поток, проникающий в массивный зубчатый ротор, пропорционален поверхности ротора, за вычетом поверхности вырезов:

$$\Phi_m = C_1 (\pi d - bz) l \quad (3)$$

где d – диаметр ротора, м;

l – длина ротора, м;

b – ширина паза, м;

z – число пазов;

C_1 – коэффициент пропорциональности.

Нарезание зубцов на роторе приводит к увеличению периметра ротора и сечения, по которому протекает ток. Периметр находится по формуле:

$$\Pi = \pi d - zb + 2zh \quad (4)$$

где h – высота зубцов, м;

Ток пропорционален периметру и сечению, по которому проходит ток:

$$I_2' \cos \psi_2 = C_2 \frac{a_2}{\rho l} \Pi = C_2 \frac{a_2}{\rho l} (\pi d - zb + 2zh) \quad (5)$$

где C_2 – коэффициент;

a_2 – эквивалентная глубина проникновения электромагнитного поля в зубчатый ротор, м;

ρ – удельное сопротивление ротора, ом·м.

Из опытов известно, что $\cos \psi_2$ для массивного ротора есть величина постоянная. Подставляя (2), (3) и (5) в уравнение (1), получим:

$$M = C_3(\pi d - zb)(\pi d - zb + 2zh) \quad (6)$$

где $C_3 = C_m C_1 C_2 \frac{a_2}{\rho} \cos \psi_2$.

Из формулы (6) видно, что $M = f(z, b, h)$.

Определим число пазов, при котором момент двигателя достигает максимального значения. Для этого возьмем производную dM/dz и приравняем ее к нулю. Тем самым найдем то значение пазов, при котором момент максимальный. Далее исследуем это значение.

Во-первых, установим, что для увеличения момента требуется увеличивать отношение h/b .

Во-вторых, установим, что увеличивать высоту зубцов h более 10мм не имеет смысла, поскольку величина момента от этого увеличивается незначительно.

В-третьих, введем ограничение на ширину t_2 ножки зубца (рис.1а) Ее ширина должна составлять не менее двойной глубины проникновения электромагнитного поля в ротор при частоте 50Гц, т.е. должна быть 2...4мм.

В-четвертых, введем ограничение на минимальную ширину пазов, связанную с технологией изготовления: $b \geq 1,0$ мм.

Оптимальное число пазов определяется по формуле:

$$Z_{opt} = \frac{\pi d - 2\pi h}{2a_{0,05} + b} \quad (7)$$

Теоретический вывод об оптимальном числе пазов массивного зубчатого ротора подтверждается экспериментальными данными.

На рис. 1а приведены шесть механических характеристик асинхронного двигателя при различных значениях Z , b и h [8].

На рис. 1б нанесены значения Z и b для указанных на рис.1а роторов, а так же линия АВ оптимальных значений Z_{opt} , полученная по уравнению (7), в котором $a_{0,05} = 1,5 \cdot 10^{-3}$ м и $h = 10 \cdot 10^{-3}$ м. Ширина зубца в нижней части составила $3 \cdot 10^{-3}$ м.

Из рисунка 1а следует, чем ближе число пазов и их ширина соответствуют линии АВ, тем лучшие характеристики роторов. Роторы №6 и №4 наиболее близко подходят к линии АВ оптимальных значений, причем ротор №6 имеет более узкие пазы, следовательно, имеет лучшую механическую характеристику.

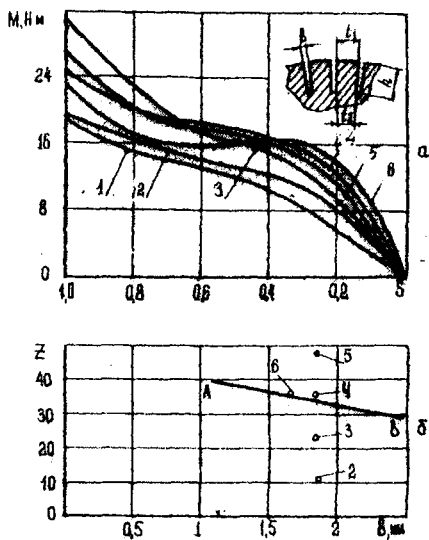


Рисунок 1 – Механические характеристики асинхронного погружного электродвигателя ($d = 71,2 \cdot 10^{-3}$ м) при различной геометрии зубцовой зоны (а) и зависимость оптимального числа пазов от ширины паза по опыту и расчету (б): 1 - ротор с гладкой поверхностью; 2 – зубчатый $z=12$, $b=1,85$ мм, $h=12$ мм; 3 – зубчатый, $z=18$, $b=1,85$ мм, $h=12$ мм; 4 - $z=24$, $b=1,85$ мм, $h=12$ мм; 5 - $z=48$, $b=1,85$ мм, $h=12$ мм; 6 - $z=36$, $b=1,65$ мм, $h=10$ мм; АВ – линия оптимального числа пазов Z_{opt} при $t_2 = 3$ мм = const и $h = 10$ мм = const.

Интересно отметить, что в работе [7] оптимальное число пазов определяется по формуле:

$$Z_{\text{opt}} = \pi k_s \left[1 + \frac{k_{bz}}{\left(\frac{D_2 - d_0}{2D_2} \right) \frac{l_1}{l_2} \frac{\pi \alpha_s}{4p} k_{bi}} \right] \quad (8)$$

где D_2 – наружный диаметр ротора, м;

d_0 – внутренний диаметр ротора, м;

l_1 – длина магнитопровода статора, м;

l_2 – длина магнитопровода ротора, м;

$k_s, \alpha_s, k_{bi}, k_{bz}$ – коэффициенты, которые рекомендуется выбирать: $k_s = 5 \dots 8$; $\alpha_s = 0,7 \dots 0,75$; $k_{bi} = 0,42 \dots 0,58$; $k_{bz} = 0,32 \dots 0,48$.

При $D_2 = 71,2 \cdot 10^{-3}$ м и $d_0 = 24 \cdot 10^{-3}$ м [8], с учетом указанных выше коэффициентов $Z_{опт} = 66 \dots 110$, что значительно превосходит оптимальное опытное значение $Z_{опт} = 36$.

При определении числа пазов массивного зубчатого ротора рекомендуется пользоваться формулой (7).

Литература

1. Могильников В.С., Олейников А.М., Стрельников А.Н. Асинхронные двигатели с двухслойным ротором. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 120 с.
2. Гаврилюк И.А. Электропривод вибрирующих рабочих органов почвообрабатывающих и свеклоуборочных машин: Автореф. дисс., канд. тех. наук, Киев, 1982. – 24 с.
3. Иванов В.В. Экспериментальные исследования асинхронного двигателя с двухслойным асинхронным ротором. – Электротехническая промышленность.: Сер. Электрические машины, 1982, вып. 4(134), с. 17–19.
4. Калинин Л.А., Шипуль П.Т., Гурин В.В. Результаты исследования асинхронных электродвигателей с ферромагнитными гильзами на роторе для автоматизированных электроприводов. – Сб. научн. тр./Бел. ин-т мех. с.х. – Горки, 1976, с. 44–48.
5. Юньков М.Г. Электропривод – уровень и перспективы. – Электротехника, 1980, №1, с. 33–36.
6. Лищенко А.И., Лесник В.А. Асинхронная машина с массивным ферромагнитным ротором оптимальной геометрии. – Киев, ИЭД АН УССР, 1978. – 186 с.
7. Лищенко А.И. Оптимальные конструктивные параметры массивного ротора асинхронных машин различной мощности. – Электротехника, 1983, №1, с. 4–7.
8. Сазонов Н.А., Шумилин Г.Д. Асинхронный привод с массивным ротором электродвигателя в сельскохозяйственном водоснабжении. В кн.: Вопросы сельскохозяйственной механики. – Мн. 1964, т.12, с. 187–245.

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ ПЕРЕГРУЗКЕ

Гурин В.В., Бабаева Е.В., Батраков Д.В., (БГАТУ) г. Минск

Трехфазный асинхронный электродвигатель, как объект защиты, может быть представлен структурной схемой, содержащей входные и выходные параметры, а также возмущения (рисунок 1).

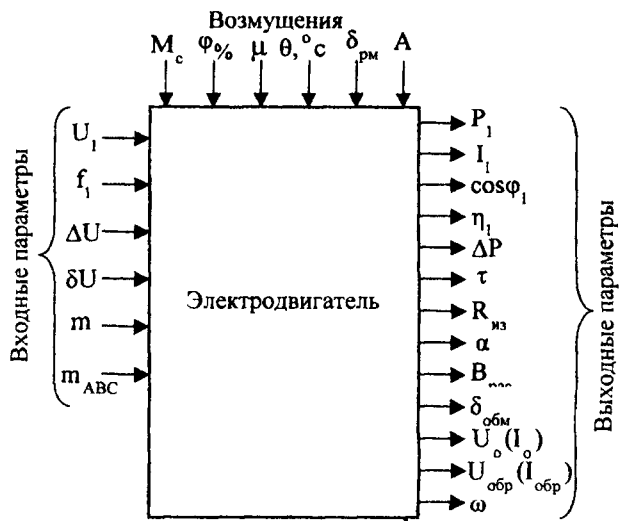


Рисунок 1 – Структурная схема асинхронного трехфазного электродвигателя как объекта защиты: U_1 - напряжение; f_1 - частота; ΔU - отклонение напряжения от номинального; δU - несимметрия напряжения питания; m - число фаз питающей сети; m_{ABC} - чередование фаз питающей сети; M_c - момент на валу электродвигателя; $\Phi\%$, $\theta, ^\circ C$, μ - влажность, температура, молекулярный состав воздуха (наличие аммиака, углекислоты и т.д.); $\delta_{рм}$ - вибрация рабочей машины; A - теплоотдача, которая может изменяться при засорении корпуса электродвигателя или отсутствии вентилятора охлаждения; P_1 - потребляемая из сети мощность; I_1 - потребляемый из сети ток; $\cos\phi_1$ - коэффициент мощности; η_1 - КПД; ΔP - потери мощности; τ - температура превышения обмотки; $R_{из}$ - сопротивление изоляции; α - угол между токами и напряжениями отдельных фаз; $B_{расс}$ - индукция полей рассеяния обмотки; $\delta_{обм}$ - вибрация обмоток; $U_0(I_0)$ - напряжения (токи) нулевой последовательности; $U_{обр}(I_{обр})$ - напряжения (токи) обратной последовательности; ω - угловая скорость ротора.

Любое изменение входных параметров или возмущений приводит к изменению выходных параметров.

Установим изменение основных параметров электродвигателя при перегрузке: потребляемой мощности P_1 ; потребляемого тока I_1 ; коэффициента мощности $\cos\phi_1$; температуры превышения τ ; потерь мощности. Считаем, что электродвигатель питается трехфазным номинальным симметричным напряжением.

Относительное изменение потребляемой мощности при перегрузке в процентах к мощности при номинальной нагрузке определяется выражением:

$$P^* = \frac{P_{1,25} - P_{1n}}{P_{1n}} \cdot 100\% = \frac{1,25\eta_n - \eta_{1,25}}{\eta_{1,25}} \cdot 100\% \quad (1)$$

Относительное изменение тока при перегрузке в процентах к номинальному току определяется выражением:

$$I^* = \frac{I_{1,25} - I_{1n}}{I_{1n}} \cdot 100\% = \frac{(1,25 \cos\varphi_n \cdot \eta_n - \cos\varphi_{1,25} \eta_{1,25})}{\cos\varphi_{1,25} \cdot \eta_{1,25}} \cdot 100\% \quad (2)$$

Относительное изменение $\cos\varphi$ в процентах к номинальному значению $\cos\varphi_n$ определяется выражением:

$$\cos\varphi^* = \frac{\cos\varphi_{1,25} - \cos\varphi_n}{\cos\varphi_n} \cdot 100\% \quad (3)$$

Относительное изменение температуры превышения обмотки к номинальной температуре в процентах составит:

$$\tau^* = \frac{\tau_{1,25} - \tau_{\text{раб}}}{\tau_{\text{раб}}} \cdot 100\% = \frac{1,25\eta_n - \eta_{1,25} - 0,25\eta_n \cdot \eta_{1,25}}{(1 - \eta_n) \cdot \eta_{1,25}} \cdot 100\% \quad (4)$$

Относительное изменение потерь мощности к номинальным потерям в процентах составит:

$$\Delta P^* = \frac{\Delta P_{1,25} - \Delta P_n}{\Delta P_n} \cdot 100\% = \frac{1,25\eta_n - \eta_{1,25} - 0,25\eta_n \cdot \eta_{1,25}}{(1 - \eta_n) \cdot \eta_{1,25}} \cdot 100\% \quad (5)$$

Следовательно, относительное изменение превышения температуры и относительное изменение потерь мощности определяются одинаковыми уравнениями (4) и (5).

Для количественного анализа приведенных выражений воспользуемся данными, приведенными в справочнике [1]. Анализ упрощается тем, что в уравнениях (1)...(5) участвуют только энергетические параметры электродвигателя: КПД и коэффициент мощности.

Приведены расчеты относительного изменения P^* , I^* , $\cos\varphi^*$, τ^* для электродвигателей серии 4А мощностью до 30 кВт. Расчеты выполнены с применением компьютерной программы MS Excel. В качестве примера на рис.2 изображено изменение указанных параметров для четырех асинхронных электродвигателей.

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

1. Наибольшее изменение при перегрузке 25% имеет температура τ^* , затем мощность P^* и ток I^* .

2. Наименьшее процентное изменение при перегрузке 25% имеет параметр $\cos\varphi^*$, причем этот параметр приемлем только для электродвигателей малой мощности (примерно до 5,5 кВт). При больших мощностях этот параметр не годится из-за нулевых или отрицательных значений приращения параметра.
3. Если сравнить изменение параметров P^* и I^* при перегрузке 25%, то для всех синхронных частот вращения вначале, до мощности 5,5 кВт, лидирует P^* , а при больших номинальных мощностях имеем примерно одинаковое изменение P^* и I^* .
4. В сельском хозяйстве распространены электродвигатели малых мощностей (до 5 кВт – 75% всех электродвигателей). Контроль их перегрузки наиболее «чувствительно» выполнять по температуре и по потребляемой мощности.

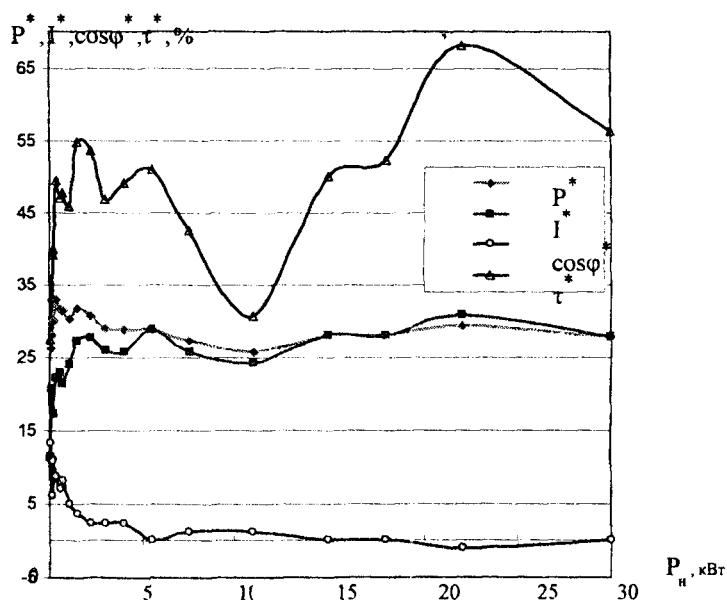


Рисунок 2 – Относительное изменение параметров электродвигателя основного исполнения (до 30 кВт) при перегрузке от номинальной мощности при частоте вращения 1500 мин^{-1} .

Литература

1. Асинхронные двигатели серии 4А: Справочник. А.Э. Кравчик, М.М. Шлаф, В.И. Афонин, Е.Н. Соболевская. – М.: энергоиздат, 1982. – 504 с.

ПРИБОРЫ ДЛЯ НЕПРЕРЫВНОГО КОНТРОЛЯ ВЛАЖНОСТИ И ТЕМПЕРАТУРЫ ЗЕРНА В ПРОЦЕССЕ СУШКИ

Дайнеко В.А. Сибиркин Д.В., Батраков Д.В., Шаукат И.Н., (БГАТУ) г. Минск

На кафедре электрооборудования СХП БГАТУ разработан, изготовлен и испытан в производственных условиях комплект оборудования, предназначенный для непрерывного контроля влажности и температуры зерна в потоке при его сушке.

В основу разработки положен сверхвысокочастотный (СВЧ) влагомер сыпучих материалов «Микрорадар-113». Разработанные для зерносушилок конструкции первичных преобразователей влажности зерна обеспечивают использование СВЧ влагомеров на зерносушилках различных типов и модификаций.

На рис.1. показана установка первичного преобразователя влажности (ПИПВ) в самотеке зерна для шахтных зерносушилок (например, М819).

Первичный измерительный преобразователь влажности (1) состоит из зерновой камеры, генератора (2) и детектора (3) СВЧ с рупорными антеннами и датчика температуры (4). Внутреннее пространство зерновой камеры разделено на две секции – измерительную и обводную (9). Внутри измерительной секции в рабочем режиме непрерывно движется зерно, скорость движения которого регулируется задвижкой, расположенной в нижней части зерновой камеры. Избыток зерна при больших нагрузках проходит через обводную секцию зерновой камеры. На измерительной секции смонтированы СВЧ генератор (БГ) и СВЧ детектор (БД) с рупорными антеннами, а также датчик температуры (ДТ). Конструктивно БГ, БД и ДТ выполнены в виде отдельных герметичных блоков.

Рабочие условия эксплуатации влагомера:

- температура окружающей среды +5 ... +60° С;
- относительная влажность воздуха до 95% при 35° С и при более низких температурах — без конденсации влаги;
- концентрация пыли в окружающей среде согласно условиям, удовлетворяющим производственным помещениям по группе В2;
- напряжение сети переменного тока 220 В (187 ...242);
- частота сети 50 Гц.

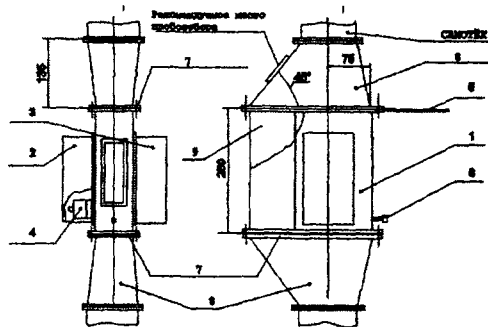


Рисунок 1 – Схема установки ПИПВ влагомера в самотеке

1-ИППВ; 2-генератор СВЧ; 3- детектор СВЧ; 4- термометр; 5 - заслонка верхняя; 8- переходник монтажный; 6 - винт регулировочный нижней заслонки; 7- фланец присоединительный; 9 - обводная секция ПИПВ.

Принцип действия влагомера основан на измерении величины поглощения СВЧ энергии слоем влажного зерна и преобразовании этой величины в сигнал, поступающий на детектор СВЧ, в котором заложена информация о соответствующей влажности зерна. Влагомер обеспечивает коррекцию результатов измерения при изменении температуры материала, имеет стандартный токовый выход (0-5; 0-20 или 4-20) мА, а также последовательный канал связи с ЭВМ RS-485.

Испытания прибора проведены на Бел МИС по рабочей программе – методике испытаний, утвержденной 08.2005 г. на основании плана научного сопровождения внедряемых в агропромышленном комплексе важнейших результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по ВУЗам Минсельхозпрода на 2005 г., утвержденного Министром сельского хозяйства и продовольствия РБ 25 марта 2005 г.

Операции по программированию измерительного блока влагомера и подготовка прибора к работе осуществлялись на основе данных, полученных при градуировке прибора по образцам зерна естественной влажности и искусственно увлажненным.

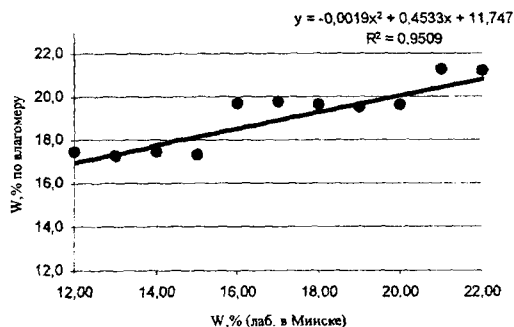


Рисунок 2 – Зависимость показаний влагомера от влажности зерна, построенная по результатам испытаний на зерносушилке.

Абсолютная погрешность прибора в лабораторных условиях не превышает 0,3, в производственных условиях – 0,5 %.

Схемные решения разработанных приборов обеспечивают их сопряжение с ПЭВМ, микропроцессорными контроллерами, а также с аналоговым входом преобразователя частоты, что позволяет автоматизировать процесс сушки по влажности и температуре зерна на выходе путем управления регулируемым электроприводом выгрузного устройства зерносушилки.

Литература

1. Малин Н.И. Справочник по сушилке зерна. – М.: Агропромиздат, 1986.
2. Моик И.Б., Рогов Н.А., Горбунов А.В. Термо- и влагометрия пищевых продуктов. – М.: Агропромиздат, 1988.
2. Государственная программа возрождения и развития села на 2006..2010 г.г.

РЕГУЛИРУЕМЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ВЫГРУЗНОГО УСТРОЙСТВА ЗЕРНОСУШИЛКИ

Дайнеко В.А., Сибиркин Д.В., Батраков Д.В., Шаукат И.Н., (БГАТУ) г. Минск

Зерносушилки – наиболее сложный и ответственный объект в поточной линии послеуборочной обработки зерна. В сельском хозяйстве наиболее распространены шахтные зерносушилки. Производительность агрегата и экспозицию сушки регулируют выгрузным устройством, расположенным в нижней части шахты, при этом изменяется скорость движения зерна через шахту сушиллки.

Применение регулируемого электропривода позволяет обеспечить регулирование процесса сушки. Контролируемыми параметрами систем автоматического регулирования процесса сушки зерна в шахтных зерносушилках могут быть температура и влажность зерна или параметры сушильного агента.

Наибольшее применение получили системы автоматического контроля и регулирования по параметрам сушильного материала. В таких системах регулируемой величиной является температура или влажность зерна.

Наиболее совершенны системы, в которых регулируемой величиной является влажность зерна, но они требуют применения дорогостоящих поточных влагомеров зерна. В более простых системах регулирование может осуществляться по температуре отработанного (выходного) теплоносителя, проходящего через зерно. При постоянстве температуры и скорости входного теплоносителя между выходной влажностью и температурой отработанного теплоносителя существует сильная корреляционная связь, которая неодинакова для различных культур. Установлено, что температура теплоносителя на выходе является функцией начальной влажности зерна. Для скорости воздуха 0,38 м/с изменение температуры на 1,4⁰С соответствует изменению влажности на 1%. В большинстве зерносушилок на выгрузных устройствах устанавливают нерегулируемый электропривод с асинхронным электродвигателем.

Регулирование производительности зерносушилки можно осуществить частотно-регулируемым электроприводом, позволяющим плавно изменять скорость электродвигателя, либо применением электропривода, работающего в прерывистом режиме.

В первом случае можно получить высокое качество регулирования процесса сушки, так как современные преобразователи частоты содержат встроенные ПИД-регуляторы и имеют цифровые и аналоговые входы, воспринимающие нормализованные сигналы 0-20,4-20 МА; 0-10 В, а также сигналы от цифровых датчиков. Во втором случае электропривод работает в прерывистом режиме, при котором производительность сушилки регулируется изменением соотношения времени включенного и выключенного состояния электродвигателя привода выгрузного устройства. Такой способ регулирования производительности позволяет использовать простейшую схему управления электроприводом. Автоматизация режима сушки может быть обеспечена применением стандартных регуляторов температуры и влажности или

микропроцессорных контроллеров. Стоимость таких систем значительно ниже, чем в случае применения частотнорегулируемого электропривода при достаточно хороших показателях качества регулирования процесса сушки.

На кафедре электрооборудования СХП БГАТУ разработана простая система регулирования производительности зерносушилки, которая может использоваться на зерносушилках СЗК-8, СЗК-10, Р1-СГ-15Р, Р1-СЖ15Р, Р1-СГ30Р и др. Для управления производительностью Q сушилки может использоваться широтно-импульсный (ШИМ) регулятор.

Для реализации регулятора использован контролер серии «Alpha-2» фирмы «Mitsubishi». Использование в составе регулятора производительности контроллера позволяет легко регулировать параметры ШИМ-блока, изменять период работы, задавать максимальные и минимальные значения t_p .

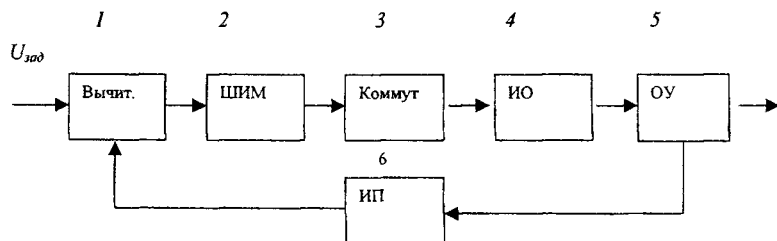


Рисунок 1 – Функциональная схема регулирования производительности зерносушилки в функции влажности зерна.

1 – вычитатель; 2 – широтно-импульсный преобразователь (ШИМ);
 3 - коммутатор 4-исполнительный орган (электропривод выгрузного устройства; 5 – объект управления (зерносушилки); 6 – чувствительный элемент (датчик влажности); $U_{зад}$ – задающий сигнал; U_{oc} – сигнал отрицательной обратной связи, пропорциональный влажности зерна.

При настройке ШИМ-регулятора в блоке PWM контроллера задается период модуляции

$$T = t_p + t_o,$$

где T – период модуляции; t_p – длительность импульса (включения исполнительного механизма); t_o – длительность паузы.

При постоянном периоде (задаваемом в диапазоне от 100мсек до 327,68 сек) модуль генерирует импульсы в зависимости от входного значения изменяемого от 0 до 100%. Входное значение рассчитывает вычислитель контроллера в зависимости от разности между заданным и контролируемым

параметром. Например, при $Q = 50\%$ период T составляет 30 с, $t_p = 15$ с, $t_n = 15$ с.

Разработанное устройство испытано на зерносушильном комплексе СПК «Нарочанские зори» Вилейского района в период уборки 2006 г. Применение регулируемого электропривода выгрузного устройства зерносушилки СЗК-8 позволило повысить ее производительность и качество сушки зерна. При исходной влажности зерна 20 – 25 % процесс сушки заканчивался за один проход зерна через зерносушилку.

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ КОАГУЛЯЦИЯ БЕЛКОВ ПОБОЧНЫХ ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ

Дубодел И.Б., Кривовязенко Д.И., (БГАТУ) г. Минск

Нехватка кормового белка в рационе сельскохозяйственных животных составляет около 20%. Вместе с тем, значительную часть полезных для кормопроизводства веществ, являющихся побочными продуктами переработки, не используют. Так, ежегодно в Республике Беларусь на картофелекрахмальных предприятиях получают до 105 тыс. тонн сока, содержащего до 3 тыс. тонн белка; молочная сыворотка, получаемая при производстве сыров, творога, казеина, содержит 9...10 тыс. тонн белка.

Одним из направлений использования белка является его выделение путем коагуляции. Существующие способы коагуляции (тепловые, химические, электротермические) позволяют выделить до 85 % белка из картофельного сока и до 60 % из сыворотки при энергоемкости 0,12...0,40 МДж/кг. Это объясняется тем, что интенсификация процессов происходит за счет энергоемкого, термического воздействия. Главным действующим фактором выступает температура. Применение химического способа, основным действующим фактором которого является рН среды, позволяет произвести процесс без затрат энергии, но уменьшает выход белка. Снизить недостатки существующих способов возможно, заменив действие химреагентов электрохимическим действием электрического тока, что осуществимо с помощью электрохимической коагуляции.

Сущность способа состоит в том, что белковосодержащую смесь через систему взаимосвязанных электродов и разделительных мембран обрабатывают постоянным электрическим током, регулируя вводимое количество электричества. Ток, протекающий между электродами, создает униполярные

заряды, уменьшающие электролитический потенциал белковых молекул до нуля. Белки переходя в изоэлектрическое состояние коагулируют. При этом выход белка увеличивается на 15...20 %, энергоемкость снижается в 3...4 раза.

ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКАЯ АКТИВАЦИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ КОРМОВЫХ ДРОЖЖЕЙ

Зяц А.Е. (БГАТУ) г. Минск

Одним из перспективных источников сырья для получения биосинтетического белка, используемого на корм сельскохозяйственным животным, птице, может служить растительная масса, отходы крахмалопаточных, сахарных и спиртовых заводов.

Проблема производства кормовых дрожжей на растительном сырье состоит в неполном использовании питательного потенциала исходного сырья и биологического потенциала микроорганизмов. Одним из направлений решения этой проблемы является обработка питательной среды и микроорганизмов, расположенных между электродами, разделенными ионопроницаемой мембраной, электрическим током. Протекание постоянного электрического тока изменяет ионный состав и температуру среды в катодной и анодной областях электроореактора и тем самым активизирует или подавляет развитие микроорганизмов. Концептуально механизм электроактивации, по нашему мнению, можно предположить следующим.

Известно, что кинетика роста биомассы дрожжей зависит от ряда факторов, важнейшим из которых является диффузия ионов питательных веществ через поры мембраны клетки. Диффузия зависит от потенциала на входе в пору мембраны, а точнее от концентрации зарядов на поверхности мембраны и в среде, окружающей клетку. Концентрация ионов в среде может быть изменена различными способами, в том числе и путем пропускания электрического тока. Следовательно, дозируя количество электричества, протекающего через среду с микроорганизмами и разделяя ионы по знаку заряда можно влиять на диффузию питательных веществ в клетку и на ее развитие. Кроме того, электрический ток влияет на химический состав среды, изменяет ее температуру. В свою очередь сила электрического тока, сама зависит от электро- и теплофизических параметров среды.

Кинетика роста биомассы дрожжей в зависимости от потенциала на входе в пору клетки можно представить в следующем виде

$$\frac{K_s Y + S_0 Y + m_0}{Y S_0 + m_0} \ln \left(\frac{m \exp \left(-\frac{eF|\varphi_n|}{RT} \right)}{Y_0} \right) - \frac{K_s Y}{Y S_0 + m_0} \ln \left(\frac{Y S_0 + m_0 - m \exp \left(-\frac{eF|\varphi_n|}{RT} \right)}{Y S_0} \right) = \mu_m \tau, \quad \text{где}$$

m – концентрация клеточной массы в единице объема среды, $\text{кг}/\text{м}^3$; m_0, S_0 – начальная концентрация клеточной массы и субстрата в среде, $\text{кг}/\text{м}^3$; K_s – субстратная константа, $\text{кг}/\text{м}^3$; Y, e – коэффициенты; φ_n – потенциал на входе в пору мембраны клетки, В; R – универсальная газовая постоянная, Дж · моль⁻¹ · К⁻¹; T – температура, К.

$$Y = \frac{m \exp \left(-\frac{eF|\varphi_n|}{RT} \right) - m_0}{S_0 - S_0 \exp(-\mu_m \tau)},$$

где μ_m – удельная скорость роста микроорганизмов, 1/с; τ – время обработки, с.

Потенциал на входе в пору мембраны клетки

$$\varphi_n = \frac{\rho_n R_q}{2\epsilon_c} \ln \left(\frac{h + \sqrt{R_q^2 + h^2}}{R_q} \right),$$

где ρ_n – суммарная плотность поверхностного заряда клетки, Кл·м⁻²; R_q – радиус поры мембраны клетки, м; h – толщина стенки мембраны клетки, м; ϵ_c – диэлектрическая проницаемость цитоплазмы клетки, Ф·м⁻¹.

Суммарная плотность поверхностного заряда клетки

$$\rho_n = \frac{\rho_b C_{H^+} + K_a (\rho_b - \rho_a) C_{H^+} - \frac{K_w K_a}{K_b} \rho_a}{C_{H^+} + \left(\frac{K_w}{K_b} + K_a \right) C_{H^+} + \frac{K_w K_a}{K_b}},$$

где ρ_a, ρ_b – плотность поверхностного заряда кислотных и основных групп соответственно, Кл · м⁻²; C_{H^+} – концентрация ионов H⁺, моль · м⁻³; K_a, K_b, K_w – константы диссоциации кислотной, основной групп и воды, соответственно

Концентрация ионов, а следовательно и плотность заряда зависят от количества электричества:

$$dC_{k_i(a_j)}^{A(K)} = \frac{1}{F} \int_0^{Q_r^{A(K)}} n_{k_i(a_j)}(\tau) dQ_r^{A(K)},$$

где $n_{k_i(a_j)}(\tau)$ – мгновенное число переноса i -го катиона (j -го аниона) в момент времени $d\tau$; $Q_\tau^{A(K)}$ – удельное количество электричества, протекающее через анодную и катодную зоны, Кл/м³.

Удельное количество электричества зависит от проводимости среды и напряженности электрического поля:

$$Q_\tau^{A(K)} = \frac{I\tau}{V_p^{A(K)}} = \frac{\gamma^{a(k)} E_{A(K)} \tau}{l_{a(k)}},$$

где $E_{A(K)}$ – напряженность электрического поля в анодной (катодной) зоне, В/м; $I(\tau)$ – мгновенная сила тока, протекающего через среду в момент времени $d\tau$, А; $V_p^{A(K)}$ – объем обрабатываемой среды в анодной (катодной) зоне, м³; l_a, l_k – толщина слоя среды соответственно в анодной и катодной зонах, м.

Средняя напряженность электрического поля в катодной, анодной зоне и на мембране

$$E_K = \frac{U}{\gamma^k \left(\frac{l_k}{\gamma^k} + \frac{l_m}{\gamma^m} + \frac{l_a}{\gamma^a} \right)}; E_A = \frac{U}{\gamma^a \left(\frac{l_k}{\gamma^k} + \frac{l_m}{\gamma^m} + \frac{l_a}{\gamma^a} \right)}; E_M = \frac{U}{\gamma^m \left(\frac{l_k}{\gamma^k} + \frac{l_m}{\gamma^m} + \frac{l_a}{\gamma^a} \right)},$$

где U – разность потенциалов между токоподводящими электродами, В.

Среднее значение удельной электрической проводимости среды в катодной, анодной зоне и в мембране

$$\gamma^k(\tau) = \left\{ \gamma_0^k + A_1 [T^K(\tau) - 293] \right\} \frac{C_{H^+}^K(\tau)}{C_{H^+}^{K_0}}; \quad \gamma^a(\tau) = \left\{ \gamma_0^a + A_2 [T^A(\tau) - 293] \right\} \frac{C_{OH^-}^A(\tau)}{C_{OH^-}^{A_0}};$$

$$\gamma^m(\tau) = \gamma_0^m + A_m [T^M(\tau) - 293].$$

где $\gamma_0^a, \gamma_0^k, \gamma_0^m$ – эквивалентная удельная электрическая проводимость среды соответственно в анодной, катодной зоне и мембране при температуре 293 К, См/м; $T^A(\tau), T^K(\tau), T^M(\tau)$ – текущая температура среды в анодной, катодной зоне и мембране, К; A_1, A_2, A_m – температурный коэффициент проводимости среды в катодной, анодной зоне и мембране, См/(м·К).

В совокупности выше приведенные уравнения представляют собой математическую модель роста биомассы. Адекватность математической модели экспериментальным данным проверена методом наименьших квадратов.

Расхождение между расчетными и экспериментальными результатами не превышает 5% (рис.1).

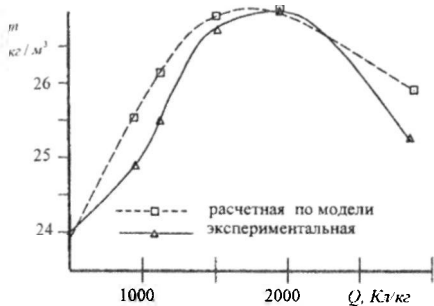


Рисунок 1- Зависимость роста биомассы кормовых дрожжей от количества электричества

микробиологических процессов.

Электроактиватор микробиологических процессов (ЭМБП) содержит электрореактор 1 и устройство питания и регулирования (УПР) 2 (рис.2).

БУР осуществляет изменение и контроль количества электричества, протекающего через среду и продолжительности обработки.

БРТ поддерживает значение температуры в требуемом диапазоне и не допускает перегрева более 35°C.

БА обеспечивает аэрацию среды.

ИП служит для изменения и контроля напряженности электрического поля и плотности тока в среде.

Результаты лабораторных и заводских испытаний подтверждают влияние электрообработки на развитие дрожжевых грибов. Можно утверждать с высокой достоверностью, что электроактивация *Trichosporon cutaneum*

Таким образом, модель электролитической активации продуцентов кормовых дрожжей с достаточной достоверностью описывает механизм влияния электрического тока на рост дрожжевого гриба. Математическим моделированием получены технологические параметры активации кормовых дрожжей и создан электроактиватор

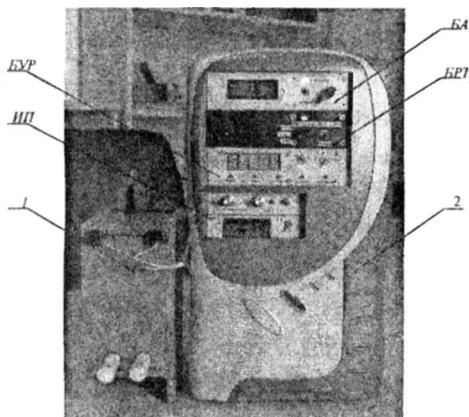


Рисунок 2. Общий вид электро-активатора роста биомассы дрожжей.

1 – электрореактор; 2 – устройство питания и регулирования; ИП- источник питания; БУР- блок управления режимом обработки; БА- блок аэрации; БРТ- блок регулирования температуры

и *Candida tropicalis* при оптимальных режимах обработки увеличивает количество клеток на 15...47%, прирост биомассы на 11...22% и продуктивность на 24...29 %. Анализ статистического комплекса подтвердил влияние действующего фактора - количества электричества и температуры, на изменение роста биомассы дрожжевого гриба с достоверностью 99%.

Энергоёмкость процесса составляет 2 ... 3 кВт·ч на тонну питательной среды. Дополнительные затраты энергии не превышают 10 кДж/кг питательной среды.

Экономическая оценка способов культивации кормовых дрожжей показывает значительную прибыль от реализации дополнительной продукции по новому, разработанному способу.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ИЗМЕНЕНИЯ СВОЙСТВ ОРГАНИЧЕСКИХ ДИСПЕРСНЫХ ГИДРОСИСТЕМ

Заяц Е.М., Николаенок М.М. (БГАТУ) г. Минск

Различные продукты сельскохозяйственного производства растительного и животного происхождения (влажные и увлажненные корма, овощные и фруктовые соки, питательные растворы для выращивания микроорганизмов, молочные сыворотки, отходы пищевой промышленности и др.) с целью повышения эффективности использования их питательного потенциала подвергают обработке, в основе которой лежат гетерогенные реакции ионного обмена на уровне макромолекул клеточного вещества мембраны дисперсной частицы и катионами и анионами жидкой фазы. Скорость протекания подобных реакций зависит от концентраций активных ионов на поверхности мембраны клетки и в объеме раствора, температуры, удельной площади реакционной поверхности. Существующие способы физической, термической, химической или комплексной обработки интенсифицируют процесс дополнительным измельчением, увеличивая площадь реакционной поверхности повышением температуры, сообщая тем самым нуклефилам энергию активации, достаточную для преодоления двойного электрического слоя, увеличивая концентрацию ионов, внесением в раствор химреагента. Степень измельчения и увеличение концентрации химреагентов имеют допустимый предел, устанавливаемый зоотехническими нормами, а повышение температуры сопряжено с возрастанием энергоёмкости процесса.

Одним из направлений углубления процесса обработки и снижения

энергетических затрат, на наш взгляд, является изменение свойств подобных органических дисперсных гидросистем (ОГДС) путем обработки их в двухкамерном электролизере, представляющем собой униполярную электродную систему, разделенную ионопроницаемой мембраной. В этом случае концентрация активных ионов в жидкой фазе зависит от количества электричества через протекающего через гидросистему:

$$C^o = C^{noc} \pm \frac{g}{F}(\eta_a + \eta_k), \quad (1)$$

где C^{noc} – начальная концентрация активных ионов в жидкой фазе; g – удельное количество электричества, протекающее через ОДГС; F – число Фарадея; η_a, η_k – выход по току анионов и катионов.

В формуле (1) знак (+) соответствует концентрации анионов и катионов соответственно в анодной и катодной камерах электролизера, а знак (-) – концентрации анионов и катионов соответственно в его катодной и анодной камерах.

Помещение дисперсной частицы в раствор и пропускание электрического тока через среду приводит также к изменению концентрации ионов на поверхности клеточной мембраны в зависимости от силы тока и стороны клеточной мембраны, обращенной к аноду или катоду

$$C^m = C^o \pm \frac{g\delta^2 \Delta n}{zFD\tau}, \quad (2)$$

где C^o – концентрация активных ионов в жидкой фазе; δ – толщина диффузного слоя на границе «клеточная мембрана – раствор»; Δn – разность чисел переноса ионов в мембране и растворе; z – заряд ионов; D – коэффициент диффузии ионов в растворе; τ – время обработки.

В формуле (2) знак (+) соответствует концентрации анионов на анодной и катионов на катодной сторонах клеточной мембраны, а знак (-) – концентрации анионов на катодной и катионов на анодной сторонах клеточной мембраны.

Основными активными ионами при обработке ОДГС являются ионы H^+ и OH^- , которые создают на поверхности мембраны клетки группы кислых или основных зарядов. Суммарная плотность электрического заряда на поверхности

$$\rho_n = \frac{\rho_n C_n^2 + K_a(\rho_n - \rho_a) C_{n^+} - \frac{K_w K_a}{K_b} \rho_a}{C_n^2 + \left(\frac{K_w}{K_b} + K_a\right) C_{n^+} + \frac{K_w K_a}{K_b}}, \quad (3)$$

мембраны клетки

где ρ_a, ρ_b – плотность поверхностного заряда кислотных и основных групп соответственно; C_n – концентрация ионов H^+ ; K_a, K_b, K_w – константы диссоциации кислотной, основной групп и воды соответственно.

Поверхностный заряд влияет на ряд свойств живых и неживых клеток. Для первых это диффузия ионов из питательной среды в клетку и обратно, для вторых – физическое взаимодействие с макрочастицами окружающей среды, например коагуляция, фильтрация, дегазация и другое.

В большинстве случаев максимальный технологический эффект достигается при плотности заряда на поверхности мембраны клетки равной нулю. Этому условию соответствует некоторая концентрация ионов в дисперсной среде, ее pH_{opt} и количество электричества Q_{opt} , протекающего через среду, которые можно назвать оптимальными:

$$pH_{opt} = -\lg K_a - \lg \left[\frac{\rho_a - \rho_b}{2\rho_a} + \sqrt{\frac{(\rho_a - \rho_b)^2}{4\rho_a^2} + \frac{K_w \rho_a}{K_a K_b \rho_a}} \right]; \quad (4)$$

$$Q_{opt} = \frac{\left(\sqrt{\frac{K_a K_w}{K_b}} (\pm) C_n^{\Lambda_0(K_a)} \right) E \tau}{\int_0^{\tau} n_{kt}(a_j) dt}, \quad (5)$$

где τ – время обработки; $n_{kt}(a_j)$ – число переноса ионов в катодной и анодной зонах.

Из приведенных зависимостей видно, что электрохимическим регулированием концентрации ионов путем дозированного пропускания электричества через среду можно изменять ее свойства. Проведенная в БГАТУ и других учреждениях экспериментальная проверка показала, что электрохимическая обработка повышает усвояемость фуражного зерна до 85...87%; выделение белков из картофельного сока до 93...98%, а из молочной сыворотки до 65...80%; продуктивность кормовых дрожжей на 24...29% при снижении энергетических затрат на обработку в 1,3...1,5 раза.

Таким образом, электрохимическое изменение свойств материалов растительного и животного происхождения является новым эффективным направлением использования электрической энергии в технологических процессах.

КИНЕТИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ КОАГУЛЯЦИИ БЕЛКОВ МОЛОЧНОЙ СЫВОРОТКИ ПРИ ЕЕ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

Заяц Е.М., Николаенок М.М., Кривовязенко Д.И., (БГАТУ) г. Минск

Побочным продуктом молочного производства является молочная сыворотка, мировое производство которой превышает 90 млн. тонн в год, в том числе в Беларуси – 0,9 млн. тонн. В состав молочной сыворотки при переработке переходит до 50% сухих веществ, в том числе до 14% тонкодиспергированного молочного жира, 20–25% легкоусвояемых белков, 88–99% молочного сахара, (минеральных веществ, уникальный углевод животного происхождения – лактозу, комплекс витаминов, макро- и микроэлементы. С целью повышения эффективности этого питательного потенциала, молочную сыворотку подвергают соответствующей обработке посредством коагуляции содержащегося в коллоидном состоянии белка. Наиболее эффективным из существующих методов выделения белка является разработанный в БГАТУ электротехнологический метод, основанный на непосредственном воздействии электрического тока в униполярной электродной системе, разделенной катион-обменной мембраной. В этом случае в обрабатываемой среде изменяется концентрация анионов и катионов таким образом, что достигается ζ -потенциал на плоскости скольжения двойного слоя на границе раздела молекула белка – раствор солей равный нулю. Это предполагает сворачивание белков в клубки и выпадение их в осадок. Скорость коагуляции подобно химической реакции 2-го порядка, характеризуется изменением числа частиц за единицу времени и равна производной концентрации коагулируемых частиц n по времени τ , взятой со знаком минус:

$$-\frac{dn}{d\tau} = Kn^2,$$

где K – коэффициент скорости процесса.

Коэффициент скорости процесса

$$K = k_0 \exp\left(-\frac{W_a}{RT}\right), \quad (2)$$

где k_0 – константа скорости; W_a – энергия активации процесса коагуляции; R – газовая постоянная; T – температура.

Константа скорости по Смолуховскому

$$k_0 = 8\pi D \left(\frac{a}{2} + h \right), \quad (3)$$

где a – размер частицы; h – расстояние между частицами; D – коэффициент диффузии частиц, определяемый из формулы Эйнштейна-Стокса:

$$D = \frac{2RT}{N_a 6\pi\nu_c a}, \quad (4)$$

где N_a – число Авагадро; ν_c – вязкость среды.

Энергию электростатического отталкивания W_s , которая согласно теории Дерягина-Ландау-Фервея-Овербека определяется из выражения:

$$W_s = 16\epsilon_0\epsilon_c \left(\frac{RT}{F} \right)^2 th^2 \left(\frac{\Phi_0 z_i e}{4kT} \right) \frac{a}{2} \exp[-\chi a(S-2)], \quad (5)$$

где ϵ_0, ϵ_c – диэлектрическая проницаемость вакуума и относительная диэлектрическая проницаемость среды; F – число Фарадея; Φ_0 – полный потенциал двойного слоя; z_i – валентность i -го иона; e – заряд электрона; k – постоянная Больцмана; S – относительное расстояние между частицами; χ – параметр Дебая-Гюккеля, можем уподобить энергии активации, т.е.:

$$W_a = W_s. \quad (6)$$

Так как полный потенциал двойного слоя не поддается экспериментальному определению, то его можно с определенным допуском заменить на потенциал внешней плоскости Гельмгольца (ζ – потенциал), который зависит от рН среды:

$$\Phi_0 \approx \zeta(pH). \quad (7)$$

Записав уравнение (1) для глубины процесса коагуляции

$$\eta_0 = 1 - \frac{n}{n_0}, \quad (8)$$

где n_0 – начальная концентрация молекул белка,

получим

$$\frac{dn_0}{dt} = 8\pi D \left(\frac{a}{2} + h \right) \exp \left[- \frac{16\epsilon_0\epsilon_c \left(\frac{RT}{F} \right)^2 th^2 \left[\frac{\zeta(pH)z_i e}{4kT} \right] \frac{a}{2} \exp[-\chi a(S-2)]}{RT} \right], \quad (9)$$

где D определяем по (4).

Как видно из (8) кинетика коагуляции определяется рН среды и температурой. Значение соответствующего рН среды определяется расходом тока D_{τ}^{AK} в анодной

и катодной зонах:

$$D_{\tau}^{A(K)} = \frac{E^{A(K)}}{l_{A(K)}} \int_0^{\tau} \gamma^{A(K)}(T, \tau) d\tau, \quad (10)$$

где $E^{A(K)}$ – напряженность электрического поля в анодной (катодной) зоне; $\gamma^{A(K)}$ – среднее значение удельной электрической проводимости раствора в анодной (катодной) зоне в момент времени τ в зависимости от температуры T ; $l_{A(K)}$ – расстояние от анода (катода) до мембраны.

При равенстве объемов анолита и католита будет происходить изменение чисел переноса ионов H^+ и OH^- :

$$n_{H^+} = \frac{\left(C_{H^+}^A + n_{H^+} \frac{D_{\tau}^A}{F} \right) \lambda_{H^+}}{\left(C_{H^+}^A + n_{H^+} \frac{D_{\tau}^A}{F} \right) \lambda_{H^+} + \left(C_{OH^-}^K - n_{OH^-} \frac{D_{\tau}^K}{F} \right) \lambda_{OH^-}}; \quad (11)$$

$$n_{OH^-} = \frac{\left(C_{OH^-}^K + n_{OH^-} \frac{D_{\tau}^K}{F} \right) \lambda_{OH^-}}{\left(C_{H^+}^A + n_{H^+} \frac{D_{\tau}^A}{F} \right) \lambda_{H^+} + \left(C_{OH^-}^K - n_{OH^-} \frac{D_{\tau}^K}{F} \right) \lambda_{OH^-}}, \quad (12)$$

где $C_{H^+}^A, C_{OH^-}^K$ – концентрация катионов H^+ в анодной зоне и анионов OH^- в катодной зоне; n_{H^+}, n_{OH^-} – мгновенное число переноса ионов катион-обменной мембраной; $\lambda_{H^+}, \lambda_{OH^-}$ – подвижность ионов.

Накопление кислотности в католите и эквивалентное ему накопление щелочности в анолите:

$$K_{H^+(OH^-)}^{K(A)} = \frac{10^{-3}}{F} \int_0^{D_{\tau}^{K(A)}} n_{H^+(OH^-)} dD_{\tau}^{K(A)}. \quad (13)$$

Зная исходное значение pH_0 , можно рассчитать повышение pH в катодной зоне и снижение pH в анодной зоне:

$$pH_{(K)} = -\lg \left(K_{H^+}^K + 10^{-pH_0^K} \right); \quad pH_{(A)} = 14 + \lg \left(K_{H^+}^A + 10^{-pH_0^A} \right). \quad (14)$$

Кинетика процесса нагрева при протекании тока описывается уравнением Фурье:

$$\frac{\partial T(x, y, z)}{\partial \tau} = \frac{\lambda(x, y, z)}{\rho(x, y, z)C(x, y, z)} \nabla^2 T(x, y, z) + \frac{\gamma(T, x, y, z)E^2(x, y, z)}{\rho(x, y, z)C(x, y, z)}, \quad (15)$$

с начальными и граничными условиями:

$$T = T_0 \text{ при } \tau = 0; \lambda(x, y, z)_z \Delta T = \alpha(T_{o.c} - T_z), \quad (16)$$

где $\lambda(x, y, z)$, $\rho(x, y, z)$, $C(x, y, z)$ – теплопроводность, плотность и теплоемкость среды; α – коэффициент теплоотдачи; $T_{o.c}$ – температура окружающей среды; $\gamma(T, x, y, z)$ – удельная электрическая проводимость материала; $E(x, y, z)$ – напряженность электрического поля.

Таким образом, уравнения (9) и (15), представляющие собой кинетические уравнения процесса совместно с (10)...(14), начальными и граничными условиями (16) представляют математическую модель.

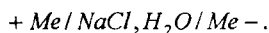
ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ ФУРАЖНОГО ЗЕРНА

Кардашов П.В., Заяц Е.М., (БГАТУ) г. Минск

Клейстеризация крахмала фуражного зерна происходит под воздействием катионов H_3O^+ и анионов OH^- . Обработку можно проводить как в кислой так и в щелочной средах.

Для улучшения вкусовых качеств и увеличения электрической проводимости перед обработкой зерно плющат и увлажняют водным раствором поваренной соли, содержащим 0,8 – 1,0 % NaCl по отношению к массе зерна.

Электролиз водного раствора NaCl, в случае использования электродов из графита, на постоянном токе протекает по следующей схеме:



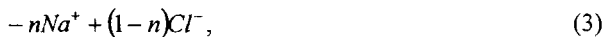
Реакция на аноде



и на катоде



Реакция переноса на аноде

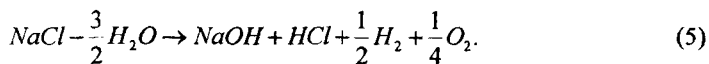


и на катоде



где n – число переноса катионов.

Суммарная реакция



На аноде идет разряд гидроксильных ионов OH^- с выделением кислорода, на катоде водородных ионов H^+ с выделением водорода.

В области катода ионы OH^- создают щелочную среду, в области анода ионы H^+ – кислотную. С целью исключения смешивания католита с анолитом необходима разделительная мембрана. Для водных растворов NaCl лучше использовать анионообменную или неактивную мембрану, для которой число переноса анионов больше числа переноса катионов.

Предположим, что в начальный момент времени в анодном пространстве концентрация i -го катиона составляет C_{ki}^{Ao} , j -го аниона – C_{Aj}^{Ao} , в катодном, соответственно, C_{ki}^{Ko} и C_{Aj}^{Ko} .

Тогда, общее изменение концентрации катионов и анионов в электродных зонах можно описать уравнениями

$$C_{Ki}^{A(K)} = C_{Ki}^{Ao(Ko)} \mp \frac{1}{F} \int_0^{D_\tau^{A(K)}} n_{i(j)} dD_\tau^{A(K)} \mp \eta_{i(j)}^{A(K)} \frac{D_\tau^{A(K)}}{F}; \quad (6)$$

$$C_{Aj}^{A(K)} = C_{Aj}^{Ao(Ko)} \pm \frac{1}{F} \int_0^{D_\tau^{A(K)}} n_{(i)j} dD_\tau^{A(K)} \pm \eta_{(i)j}^{A(K)} \frac{D_\tau^{A(K)}}{F}, \quad (7)$$

где $n_{i,j}$ – мгновенное число переноса i -го катиона или j -го аниона;

$D_\tau^{A(K)} = \frac{I\tau}{V_p^{A(K)}}$, – количество электричества, пропускаемого через зерновую

массу; I – сила тока, проходящего через раствор, А; $V_p^{A(K)}$ – объем раствора в анодной (катодной) зоне, м³. $\eta_{i,j}^{A(K)}$ – выход по току электродной реакции на аноде (катоде), в результате которой разряжается i -й катион или j -й анион.

Определив числа переноса ионов H^+ , Na^+ , Cl^- , OH^- , можно рассчитать накопление щелочности в католите или кислотности в анолите, г-экв/л.

$$K = \frac{10^{-3}}{F} \int_0^D (n_{\text{Na}^+} + n_{\text{Cl}^-}) dD_\tau. \quad (8)$$

Из (8) следует, что накопление щелочности или кислотности пропорционально количеству электричества.

Зная исходное значение pH раствора (pH_n), можно определить pH_A в анодной зоне

$$pH_A = -\lg(K + 10^{-pH_n}) \quad (9)$$

и pH_K в катодной зоне

$$pH_K = 14 + \lg(K + 10^{-pH_n}) \quad (10)$$

Как видно из этих уравнений (8) – (10), пропускание электрического тока изменяет концентрацию ионов в массе зерна и pH -показатель среды.

Таким образом, клейстеризация крахмала и, следовательно, повышение кормовой ценности фуражного зерна происходит в результате химических реакций, действующими факторами которых являются ионы H^+ , H_3O^+ , OH^- . Требуемая концентрация ионов может быть создана пропусканием определенного количества электричества через реагирующие вещества.

Концентрация ионов H^+ и OH^- в обрабатываемом зерне пропорциональна кислотности и щелочности и может быть выражена через обобщенный параметр pH – показатель среды. Изменение pH среды зависит от количества протекающего электричества.

ОСНОВЫ КОНСТРУКТИВНОГО ИСПОЛНЕНИЯ И РАСЧЕТА УСТАНОВОК ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ФУРАЖНОГО ЗЕРНА

Кардашов П.В., Заяц Е.М., (БГАТУ) г. Минск

Электрохимическая установка предназначена для обработки фуражного зерна электрическим током с целью повышения его кормовой ценности.

Конструктивная схема установки должна содержать основные технологические элементы: приемное устройство; механизм распределения и подачи корма в рабочую камеру; механизм уплотнения (транспортировки и уплотнения) корма; рабочую камеру; механизм выгрузки; источник питания; станцию управления.

В качестве основных узлов установки необходимо использовать: механизм распределения корма по камерам обработки – крыльчатка; механизм уплотнения – поршневой с вертикальным перемещением; рабочую камеру – вертикального расположения с электродами на боковой поверхности.

Основными конструкционными материалами для изготовления установки являются: стенки рабочей камеры – стеклотекстолит марок СТЭ; электроды – графит Г-Э; мембрана – анионообменная мембрана типа МА-41Л.

Питание рабочих камер установки от источника постоянного тока типа ВАК, ВАКР.

Расчет установки электрохимической обработки фуражного зерна заключается в определении геометрических размеров рабочей камеры, параметров устройств уплотнения и выгрузки.

Производительность установки, кг/ч,

$$Q = \frac{PH}{\tau_{см}}, \quad (1)$$

где P – поголовье скота; H – суточная норма скармливания зерна в рационе животного, кг; $\tau_{см}$ – продолжительность сменной работы установки, час.

Расстояние от мембраны до анода и катода

$$l_a = l_k = \frac{U_d \gamma_c \gamma_m - \gamma_c^2 E_{онм} l_m}{2 \gamma_c \gamma_m E_{онм}}, \quad (2)$$

где $E_{онм}$ – напряжённость электрического поля в зерновой массе, В/м; l_m – толщина мембраны, м; γ_c, γ_m – электрическая проводимость зерновой массы и мембраны, См/м; U_d – напряжение, подводимое к электродам, В.

Высоту электрода h_2 определяем исходя из условий подачи материала крыльчаткой. Экспериментально установлено, что $h_2 \leq 0,2m$.

Длина рабочей камеры L_1 может быть определена по формуле:

$$L_1 = \frac{l_a h_2}{2f\mu(l_a + h_2)} \ln \frac{P + q_o}{q_o} \frac{\mu}{\mu}, \quad (3)$$

где l_a – расстояние от анода до мембраны, м; h_2 – высота электрода, м; f – среднее значение коэффициента трения материала о стенки камеры; μ – коэффициент бокового давления материала; P – давление уплотнения, кПа; q_o – остаточное боковое давление, кПа.

Длина электрода L_2 связана с длиной рабочей камеры L_1 соотношением

$$L_2 = L_1 - m_b, \quad (4)$$

где m_b – расстояние от края электрода до выхода из рабочей камеры, $m_b = 0,5l_a$.

Для определенных по вышеприведенным формулам геометрических размеров рабочей камеры рассчитываем кинетические параметры процесса электрообработки пользуясь ЭВМ – программой.

Необходимое количество камер обработки

$$n_k = \frac{Q \tau_{\text{кон}}}{3600 h_3 l_a \rho_c L_3 \nu}, \quad (5)$$

где $\tau_{\text{кон}}$ – время обработки зерновой массы, с; ρ_c – плотность зерновой массы в рабочей камере, кг/м³; ν – объемная доля твердой фазы.

Толщина единичной порции уплотняемого материала

$$m = \frac{m_o K_3 \rho_{\text{нас}}}{\rho_c}, \quad (6)$$

где m_o – высота зоны уплотнения, м; K_3 – коэффициент заполнения зерновой массой зоны уплотнения; $\rho_{\text{нас}}$ – насыпная плотность зерновой массы, кг/м³.

Высота зоны уплотнения

$$m_o = h_3. \quad (7)$$

Требуемая частота двойных ходов поршня уплотнения, с⁻¹

$$n_n = \frac{Q}{3600 n_k m h_3 l_a \rho_c}. \quad (8)$$

Наружный диаметр выгрузного шнека, м

$$D = h_3 - 0,01. \quad (9)$$

Внутренний диаметр выгрузного шнека, м

$$d = \frac{D}{4}. \quad (10)$$

Необходимую частоту вращения выгрузного шнека определяем по, при коэффициенте заполнения объема $K_3 = 0,5$.

Установки ЭТХО фуражного зерна рекомендуется рассчитывать по разработанной методике, основанной на совместном решении уравнений, взаимосвязывающих кинетику процесса обработки, параметры электрического поля и геометрические размеры рабочей камеры.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ГИДРОЦИКЛОНА В ПРОЦЕССАХ ОЧИСТКИ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ СТОЧНЫХ ВОД

Крутов А.В., Бойко М.А. (БГАТУ) г. Минск

В сельскохозяйственных организациях нашей Республики на мойку автотракторной техники и различных сельхозмашин затрачиваются значительные объемы воды. Кроме того, образованные при этом сточные воды

содержат, как правило, различные минеральные загрязнения и, особенно, нефтепродукты в дозах, превышающих предельно допустимые показатели.

Очистка нефтесодержащих стоков с применением электрокоагуляции и электромагнитных гидроциклонов позволяет повысить степень обеззараживания воды и обеспечить замкнутое водоснабжение, рациональное использование водных ресурсов, снижение вредного воздействия загрязняющих веществ на окружающую среду.

В предлагаемой электротехнологии (рисунок 1) вода с поста мойки поступает в приемный резервуар 2, в котором имеется перегородка. Благодаря ей часть нефтепродуктов, содержащихся в стоках, скапливается в камере А, образуя там пленку определенной толщины. Вода, поступившая в камеру Б, насосом 3 подается в электрокоагулятор 4, где под действием электрического тока, протекающего между электродами, происходит перезарядка некоторой части коллоидных частиц. Из электрокоагулятора 4 вода направляется в гидроциклон 6. С внешней стороны гидроциклона расположена индуктивная катушка, которая используется для создания электромагнитного поля. В процессе электрообработки скоагулировавшие нефтепродукты получают заряд и при попадании в электромагнитное поле гидроциклона, под действием возникающих в нем сил, начинают двигаться по винтовой линии. При этом скоагулировавшие в электрокоагуляторе 4 частицы, находящиеся в воде, при прохождении через неоднородное электромагнитное поле,

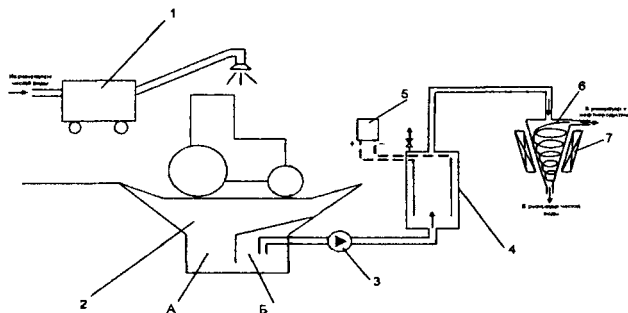


Рисунок 1 – Технологическая схема процесса очистки нефтесодержащих стоков с использованием электромагнитных воздействий:

- 1 – моечная машина; 2 – сборный резервуар с перегородкой; 3 – насос;
- 4 – электрокоагулятор; 5 – источник тока; 6 – электромагнитный гидроциклон;
- 7 – электромагнит; А и Б – камеры.

создаваемое, в гидроциклоне 6, начинают закручиваться в потоке и вытесняться к стенкам гидроциклона. Направлением их движения можно управлять.

Известно, что в магнитном поле с индукцией \vec{B} на частицу массой m и зарядом Q , движущимся со скоростью \vec{V} , действует сила Лоренца \vec{F} . Уравнение ее движения имеет вид $\vec{F} = m \frac{d\vec{V}}{dt} = Q \cdot \vec{V} \cdot \vec{B}$

Раскладывая вектор скорости на две составляющие: \vec{V}_{np} – параллельную вектору магнитной индукции и $\vec{V}_{перп}$ – перпендикулярную \vec{B} , и учитывая, что $\vec{V}_{np} \cdot \vec{B} = 0$, а $\vec{V}_{перп} \cdot \vec{B} = VB$, можно получить из уравнения движения два уравнения $m \frac{dV_{np}}{dt} = 0$ и $m \frac{dV_{перп}}{dt} = QV_{перп} B$.

Первое уравнение, решением которого является $\vec{V}_{np} = \text{const}$, описывает равномерное движение частицы, параллельное направлению вектора магнитной индукции \vec{B} . Из второго уравнения следует, что частица движется в плоскости, перпендикулярной \vec{B} , с постоянным ускорением $a = \frac{dV_{перп}}{dt} = \frac{F}{m} = \frac{Q \cdot V_{перп} B}{m}$. Такое движение есть равномерное движение по окружности, радиус которой $R = \frac{V_{перп}^2}{a} = \frac{mV_{перп}}{QB}$.

В неоднородном магнитном поле при движении заряженной частицы в направлении возрастания поля силовые линии будут сходящимися, и движение происходит по винтовой линии с уменьшением радиуса (рисунок 2).

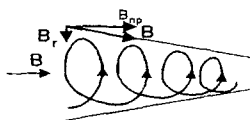


Рисунок 2 – Траектория движения заряженных частиц в неоднородном магнитном поле

Вектор \vec{B} имеет кроме продольной B_{np} , еще и поперечную составляющую B_r , направленную к оси винтовой линии. Эта составляющая вектора магнитной индукции создаст силу, равную $QV_{перп} B$ и направленную против продольной составляющей скорости \vec{V}_{np} . Под действием этой силы

уменьшается расстояние между соседними витками траектории – шаг винтовой линии. Если составляющая скорости, обусловленная действием этой силы, превысит величину \vec{V}_{np} , то частица, продолжая движение по винтовой линии, начнет двигаться в противоположную V_{np} сторону с увеличением радиуса R витков, сохраняя направление движения.

Выводы

1. Электромагнитным воздействием на скоагулировавшие заряженные частицы нефтепродуктов, в очищаемых стоках, движущихся в гидроциклоне, можно интенсифицировать процесс отделения данных загрязнений. Направление движения коагулянта зависит от величины неоднородного магнитного поля, скорости сточных вод и величины заряда, которым обладают скоагулировавшие частицы.

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ В ПРОЦЕССАХ ОЧИСТКИ И МОЙКИ ДОИЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Кузьмич В.В., Зимницкий Д.В., (РУНИП «ИМСХ НАН Беларуси»); Чернобай Л.А., Гвоздев В.Л. (БГАТУ) г. Минск

В процессе эксплуатации доильного оборудования неизбежно возникает проблема его периодической очистки от разного рода загрязнений. К таким загрязнениям относятся скопления молочного камня, отложения жира и белка, а также биологические пленки, возникающие в результате жизнедеятельности микроорганизмов. Для их удаления используют длительное химическое воздействие щелочными и кислотными растворами, а также механическое воздействие потоком промывающей воды. При этом используются растворы таких сильнодействующих, ядовитых веществ, как гипохлорит натрия, дезмол и збруч. Эти вещества являются сильными окислителями, которые не только стерилизуют оборудование, но и приводят к его постепенному разрушению. Не менее разрушительное действие, особенно на сосковую резину, оказывают растворы традиционно применяемых на молочно-товарных фермах моющих порошков.

Ультразвуковая очистка – сложный процесс, обусловленный микроударным воздействием на загрязненную деталь пузырьков газов и паров, образующихся в результате кавитации, и действием больших ускорений в очищающей жидкости, которые приводят к разрушению загрязнений. Ультразвуковые волны,

распространяющиеся в жидкости, образуют чередующиеся области высоких и низких давлений, создающих зоны высоких сжатий и зоны разрежений.

В разреженной зоне гидростатическое давление понижается до такой степени, что силы, действующие на молекулы жидкости, становятся больше сил межмолекулярного сцепления. В результате резкого изменения гидростатического равновесия жидкость «разрывается», образуя многочисленные мельчайшие пузырьки газов и паров. В следующий момент, когда в жидкости наступает период высокого давления, образовавшиеся ранее пузырьки схлопываются. Процесс схлопывания пузырьков сопровождается образованием ударных волн с очень большим местным мгновенным давлением, достигающим нескольких сотен атмосфер. Выделяемая при разрушении пузырька энергия производит очищающее воздействие, ломая связь между деталью и ее загрязнителями. Также газовые пузырьки, перемещаясь под действием акустических течений и пульсируя, растворяют некоторую часть жировых отложений в рабочей жидкости. Пульсирующий пузырек играет роль ультразвукового излучателя, поэтому на его поверхности происходит процесс гомогенизации жировой пленки с водой, что приводит к дополнительному растворению и удалению жира с очищаемой поверхности [1].

Основные преимущества ультразвуковой мойки и очистки перед всеми известными методами удаления загрязнений следующие:

- качественная глубокая очистка без скребков, щеток или шабрения поверхностей сложных геометрических форм (щели, глухие отверстия). При полоскании деталей остается до 80 % загрязнений, при вибрационной очистке – около 55 %, при ручной – около 20 %, при ультразвуковой – не более 0,5 %;
- высокая производительность. Время очистки не более 10 минут;
- экономия электроэнергии (до 40 %). Потребляемая излучателями мощность в масштабах всей установки от 20 до 80 Вт;
- применение химически менее активных моющих растворов;
- возможна автоматизация последовательности очистки;
- простое, эргономическое и быстрое управление процессом.

В наибольшей степени на качество очистки влияет выбор чистящего раствора, температуры, продолжительность, а также выбор размера и типа ультразвукового излучателя, его рабочих характеристик. Проведенные исследования свидетельствуют, что наиболее оптимально применение ультразвуковых колебаний частотой 44 кГц, удельной мощностью $\sim 1 \text{ Вт/см}^2$ при применении ПАВ $\sim 0,3 \dots 0,5 \text{ Вт/см}^2$ [2].

При выборе конкретных технологических режимов и приемов очистки и вспомогательных операций промывки доильного оборудования следует также учитывать материал очищаемых поверхностей, виды загрязнений и особенности конструкции. Доильная установка состоит из множества различных сложных поверхностей, требующих очистки. К ним относятся внутренние поверхности молокопровода и молокосборных емкостей различного вида. Размещая компактные, пьезоэлектрические излучатели в стенках этих деталей, можно получить оптимальные условия очистки поверхностей от загрязнений.

Анализ возможности применения явлений, возникающих в поле ультразвуковой кавитации, на эффективность удаления загрязнений деталей доильной установки позволяет сделать следующий вывод. В результате применения ультразвукового воздействия на процессы очистки и мойки деталей доильного оборудования снижается время очистки с 45 до 5–10 мин.; затраты энергии на процесс промывки снижаются до 40 %; повышается качество очистки, происходит удаление трудноудаляемых скоплений молочного камня и других видов загрязнений; снижается степень воздействия химически активных моющих растворов на детали доильного оборудования; повышается срок эксплуатации доильной установки.

Литература

1. Ультразвуковая технология / Б.А. Агранат [и др.]; под общ. ред. Б.А. Агранат. – М.: Металлургия, 1974. – 504 с.
2. Бергман Л. Ультразвук и его применение в науке и технике / Л. Бергман. – 2-е изд. – М.: Издательство иностранной литературы, 1957. – 726 с.

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОФИЛАКТИЧЕСКОГО ОПТИЧЕСКОГО ОБЛУЧЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ

Кузьмич В.В., Маркевич Ю.Г., Колосов И.И., (Институт энергетики АПК НАН Беларуси); Лобанок Е.С., Пинчук С.В., (Институт биофизики и клеточной инженерии НАН Беларуси), г. Минск

В настоящее время в мировой практике наблюдается тенденция использования света не только для освещения бытовых и производственных помещений, но и как фактора, обладающего значительным физиологическим действием на организм человека и животных. Достижение необходимого функционального эффекта светового воздействия возможно благодаря использованию источников излучения с требуемыми спектральными и

энергетическими характеристиками, позволяющих решать ряд специальных задач: обеззараживание помещений, профилактику и лечение заболеваний, увеличение устойчивости организма к неблагоприятным факторам окружающей среды и др.

Особую важность вопросы использования профилактического облучения приобретают в животноводстве, поскольку в условиях крупных специализированных животноводческих хозяйств, в частности, свиноводческих комплексов, практикуется система безвыгульного содержания основных производящих групп животных, приводящая к низким дозам светового воздействия на организм. Несоответствие световых параметров физиологическим потребностям организма животных, особенно молодняка, отрицательно сказывается на их состоянии, приводит к снижению суточных привесов, увеличению заболеваемости и падежа. Имеются многочисленные данные о том, что оптическое излучение оказывает положительное влияние на биохимические и физиологические процессы в организме животных: гормональный и антиоксидантный статус, функциональную активность клеток, в том числе клеток иммунной системы, репродуктивную функцию. Ультрафиолетовое излучение УФ-В диапазона (280-315 нм) обладает антираhitным действием, инициирует превращение провитамина D в активно действующий витамин D₃, имеющий важное значение в регуляции фосфорно-кальциевого обмена и пролиферативной активности клеток. Показано, что ежедневное профилактическое эритемное облучение в дозах 80-110 Дж/м² (20-30 мэрг/м²) способствует увеличению продуктивности сельскохозяйственных животных, повышает усваиваемость кормов, уменьшает заболеваемость и падеж молодняка [1-3]. Вследствие ключевой роли свободно-радикальных повреждений клеток, в частности, клеток системы крови, в этиологии большинства патологических процессов, особый интерес представляет влияние светового воздействия различных спектральных областей на антиоксидантный статус организма. Лабораторные и клинические исследования показали значительное лечебное действие узкополосного излучения видимой области в спектральном диапазоне 600-680 нм [4].

Вместе с тем, практическое использование света различных спектральных диапазонов для улучшения физиологического состояния сельскохозяйственных животных носит эмпирический характер, не установлены оптимальные режимы и параметры воздействий, исключая побочные повреждающие эффекты. Отсутствие практических наработок и рекомендаций по использованию

комбинированного воздействия оптического излучения различных спектральных диапазонов обусловлено тем, что, помимо ИК-обогрева, в настоящее время практически нет специализированного оборудования для общего и местного профилактического оптического облучения сельскохозяйственных животных.

Необходимость разработки нового поколения установок оптического облучения животных (по сравнению с созданным в 70-х годах XX века) обусловлена, с одной стороны, потребностью повышения их энергоэффективности и безопасности для обслуживающего персонала, с другой стороны, появлением высокопрочных светотехнических материалов, прозрачных в широком спектральном диапазоне (в том числе УФ-области); эффективных светоизлучающих приборов с увеличенными до 30-50 тысяч часов сроками службы, повышением надежности средств автоматизации технологического цикла работы оборудования (45-120 суток).

В Институте биофизики и клеточной инженерии НАН Беларуси в настоящее время проводятся испытания разработанного и изготовленного в Институте энергетики АПК НАН Беларуси макета устройства профилактического оптического облучения молодняка сельскохозяйственных животных, состоящего из модульных светоизлучающих элементов, включающие источник оптического излучения УФ-В диапазона с параболоцилиндрическим зеркальным отражателем и линейку источников направленного узкополосного излучения в диапазоне красного видимого света с возможностью угловых перемещений, обеспечивающих необходимые уровни облучения и оптимальное распределение излучения по экспериментальной площадке. Предусмотрена возможность ступенчатого изменения мощности линейки излучателей видимого красного света путем формирования трех независимых групп излучателей, причем единичные излучатели каждой группы распределены по длине линейки равномерно.

Мощность источников излучения макетного образца:

- источника УФ-В излучения - 30 Вт;
- линейки излучателей видимого красного света - 8, 16, 24, 32, 40, 48 Вт.

Плотность потока падающего излучения в видимой области спектра оценивали люксметром-яркомером "ТКА-ПКМ"/41, измерение энергетической освещенности облучаемой площадки в УФ-В спектральном диапазоне проводили УФ-радиометром "ТКА-ПКМ"/12. Точки измерения на экспериментальной площадке размерами 800x1200 мм фиксировали с шагом 200 мм.

Уровни облученности и распределение УФ-В и красного излучения по облучаемой площадке, полученные в ходе предварительных испытаний макетного образца облучателя (рисунки 1, 2), показали достаточную равномерность облучения и значительный запас по мощности источников излучения, что позволяет в широких пределах варьировать условия проведения экспериментальных исследований по облучению животных, изучать кумулятивные эффекты воздействия индивидуального и сочетанного оптического облучения.

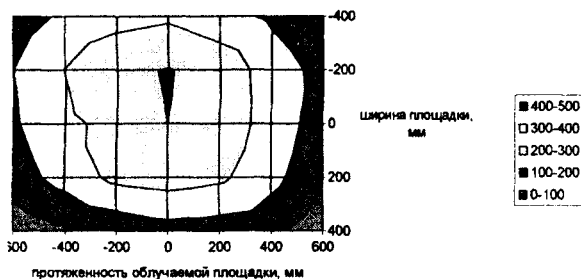


Рисунок 1 – Энергетическая освещенность экспериментальной площадки в УФ-В диапазоне, мВт/м².

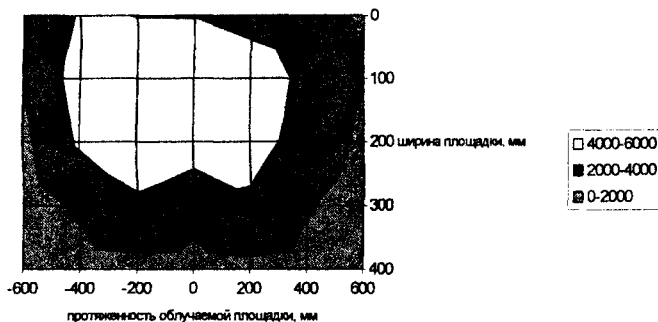


Рисунок 2 – Энергетическая освещенность экспериментальной площадки в красной области спектра, мВт/м², при мощности линейки излучателей 48 Вт.

Диапазон регулирования потока излучения узкополосного видимого света красной области спектра на площадке составил 800-5000 мВт/м² при ступенчатом изменении мощности линейки излучателей.

Эффективное отражающее устройство обеспечивает уровень УФ облученности 200-400 мВт/м², изменение которого возможно регулировкой высоты установки (подвеса) облучателя. В тоже время вне зоны облучения интенсивность УФ излучения не превышает 0,5-1,0 мВт/м², что позволяет

снизить дозовую нагрузку для обслуживающего персонала до значений ниже ежедневной предельно допустимой дозы (для излучения УФ-В диапазона она составляет 30 Дж/м^2 в течение 8-и часового рабочего дня [5]).

На экспериментальных животных показано, что ежедневное профилактическое оптическое облучение животных в дозах $240\text{-}480 \text{ Дж/м}^2$ для излучения УФ-В диапазона и 30 кДж/м^2 красного диапазона активирует антиоксидантную защиту клеток системы крови, проявляющуюся в увеличении внутриклеточного содержания восстановленного глутатиона и активности антиоксидантного фермента – супероксиддисмутазы.

Литература

1. Свентицкий И.И., Жилинский Ю.М. Сельскохозяйственная светотехника. М., Колос, 1972. – 191 с.
2. Рекомендации по применению ультрафиолетового излучения в животноводстве и птицеводстве. М., Колос, 1979. – 32 с.
3. Козинский В.А. Электрическое освещение и облучение. – М.: Агропромиздат, 1991. – 239 с.
4. Козлов В.И., Буйлин В.Л. Лазеротерапия. – М.: Центр, 1993. – 275 с.
5. Threshold Limit Values and Biological Exposures Indices for 1986-1987.// American Conference of Governmental Industrial Hygienists, 6500 Glenway Avenue, Building D-7, Cincinnati, Ohio. P. 4438-4521.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОГЕРЕНТНОГО ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ПЛОДОВОДСТВЕ

Кустова Р.И., (БГАТУ) г. Минск

Прецизионные агротехнологии, основанные на дозированном использовании регуляторных факторов становятся важнейшим средством повышения продуктивности агроценозов.

Физические факторы выгодно отличаются от химических низкой энергоемкостью, большей экологической безопасностью, высокой технологичностью. Исследования, проведенные А.В. Будаговским (ГНУ ВНИИ генетики и селекций плодовых растений имени И.В. Мичурина, Россия) показывают, что излучение видимой области спектра занимает особое место среди факторов воздействия.

Известна чрезвычайно важная роль света в развитии растений. Особый интерес вызывает феномен влияния когерентного излучения в оптическом диапазоне волн. Этот эффект получил название «лазерной стимуляции» т.к. технологическими источниками когерентного излучения являются лазеры.

На базе лазерного излучения созданы способы и технологические приемы сокращающие применение гормональных препаратов и пестицидов, повышающие продуктивность и устойчивость сельхозкультур, качество посадочного материала.

Исследованиями установлено, что основными влияющими факторами являются энергетические (длина волны, плотность излучения, экспозиция) и статические (корреляционные) от которых зависят регуляторные свойства слабого светового сигнала (длина когерентности, радиус корреляции и др.)

Длина волны светового воздействия должна соответствовать спектрам возбуждения фоторегуляторных систем клетки, которые наиболее чувствительны в диапазоне 350...500 и 600...690 нм.

Установлено, что лазерная стимуляция не подчиняется закону дозирования. Необходима оптимизация плотности излучения и длительности облучения.

Исследованиями ученых установлены следующие технологические режимы обработки некоторых плодов и растений. Для повышения сохранности яблок в послеуборочных период рекомендована плотность облучения 0,1...4,0 Вт/м², длина волны 633 нм, экспозиция 19...24 с. Лазерная обработка повышает сохранность плодов яблок на 25...28% после 5...6 месяцев хранения.

Облучение земляники плотностью излучения 1,2 Вт/м² в течение 8 с. увеличивает допустимое время ее реализации на 20 часов, обеспечивая сохранность до 55...75 часов.

Регенерационная способность черенков облепихи, смородины, яблони, крыжовника и др. повышалась после облучения светом, генерируемым гелий-неоновым лазером (632,8 нм). Биологически эффективными приняты: 0,2...1,4 Вт/м², 8...60 с. В оптимальных режимах облучения количество стандартных саженцев в 2...3 раза превышало контроль.

Приведенные примеры показывают высокую эффективность и широкую область использования нанотехнологий в сельскохозяйственном производстве.

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ КОАГУЛЯЦИЯ БЕЛКОВ МОЛОЧНОЙ СЫВОРОТКИ

Кривовязенко Д.И., Заяц Е.М., (БГАТУ) г. Минск

В настоящее время значительная часть питательных веществ теряется побочными продуктами переработки сельскохозяйственной продукции.

Эффективность использования кормовых материалов в значительной м зависит от совершенства методов их обработки. Одним из перспективн способов выделения белка является электрокоагуляция

Молочную сыворотку обрабатывали постоянным электрическим током электрокоагуляторе, разделенном мембранной перегородкой, варьи количество электричества в необходимом диапазоне, что изменяло рН сред пределов (3,0...11). Технологический процесс электрокоагуляции показан рис. 1. Сыворотка подается в электрокоагулятор 7. Обработанный продукт катодной камеры I поступает в успокоительную емкость 2 затем в центрифуг для выделения коагулята. После центрифугирования и отделения бел сыворотка поступает в анодную зону для повторной обработки и более полн выделения белков. Как видно из табл.1, максимальному выходу белка (78 соответствует рН в катодной зоне равное 8,9, анодной – 3,5. Дальнейш изменение рН не приводит к увеличению степени коагуляции белков.

Таким образом, электрохимическая коагуляция позволяет выделить до 78 белков молочной сыворотки, что на 20...30% больше чем при традиционн технологии.

1. Влияние рН в зонах коагулятора на выделение белка

Номера соотношений рН	Значение рН в зонах		Выделение белка К, %		
	рНкк	рНка	Зона I	Зона II	Общее
1	6,2	5,0	16	4	20
2	7,2	4,2	36	9	45
3	8,1	3,8	48	15	63
4	8,9	3,5	60	18	78
5	10,3	3,2	52	16	68

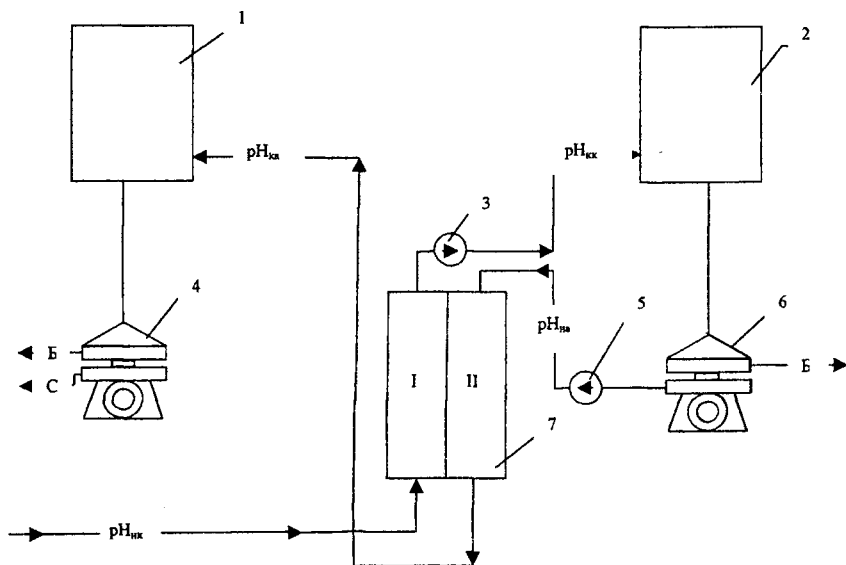


Рисунок 1 Принципиальная технологическая схема электрокоагуляции:

1,2 - успокоительные емкости; 3,5 - вакуум - насос; 4,6 - саморазгружающиеся фильтрующие центрифуги; 7 - электрокоагулятор (I, II – катодная, анодная зоны; $pH_{нк}$, $pH_{кк}$ – начальное и конечное значение pH в катодной зоне; $pH_{на}$, $pH_{ка}$ – начальное и конечное значение pH в анодной зоне), Б - белок, С - молочная сыворотка после электрообработки.

ОСНОВЫ ИНЖЕНЕРНОГО РАСЧЕТА УСТАНОВОК ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ УВЛАЖНЕННЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ ДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Николаенок М.М., Пашинский В.А., (БГАТУ) г. Минск

Разработка аппаратного оформления процесса электротехнологической обработки органических дисперсных материалов требует учета кинетических закономерностей изменения электрофизических свойств продукта и его питательной ценности наряду с кинетикой процесса его нагрева протекающим электрическим током. Таким образом, расчет электрических и температурных полей, а также кинетики процесса изменения питательной ценности

сводится к совместному решению системы следующих нелинейных дифференциальных уравнений:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[\gamma(T, x, y, z) \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\gamma(T, x, y, z) \frac{\partial \varphi}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\gamma(T, x, y, z) \frac{\partial \varphi}{\partial z} \right] = 0, \quad (1)$$

$$\rho C \frac{\partial T}{\partial \tau} = \lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + \gamma(T, x, y, z) \left(\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} \right), \quad (2)$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial \tau} = k_0 \exp\left(-\frac{W_a}{RT}\right) n_0 (1 - \eta)^2, \quad (3)$$

с начальными условиями при $\tau = 0$

$$T = T_0, \quad \eta = 0 \quad (4)$$

и граничными условиями

$$\frac{\partial T}{\partial n} \downarrow_{\Gamma} = \alpha(T - T_0); \quad \frac{\partial \varphi}{\partial n} \downarrow_{S_{\text{из}}} = 0; \quad \frac{\partial \varphi}{\partial n} \downarrow_{S_{\text{эл}}} = \frac{\varphi}{l_s}, \quad (5)$$

где T, T_0 – текущая температура и температура окружающей среды; α – коэффициент теплоотдачи; \bar{n} – нормаль к поверхности; φ – потенциал внешнего поля; x, y, z – координаты; $\gamma(T, x, y, z)$ – удельная электрическая проводимость среды; ρ, C, λ – плотность, удельная теплоемкость, теплопроводность материала; k_0 – предэкспоненциальный множитель; W_a – энергия активации процесса; R – газовая постоянная; η – глубина процесса обработки; n_0 – начальная концентрация частиц; l_s – расстояние между электродами.

В уравнениях (4) и (5) черта подстановки $\downarrow_{\Gamma}, \downarrow_{S_{\text{из}}}, \downarrow_{S_{\text{эл}}}$ означает, что имеется в виду значение соответствующей величины в точке границы электродной камеры Γ , плоскости изоляционной стенки $S_{\text{из}}$, плоскости электрода $S_{\text{эл}}$.

Для решения задачи (1)...(3) используем метод итерации. При этом задачу разбиваем на три одиночные задачи. Процесс расщепления выполняем по следующей схеме.

Зная начальное приближение $T^0 = T_0$, определяем значение электрической проводимости по формуле:

$$\gamma(T, x, y, z) = \gamma(T = 293\text{K}, x, y, z) [1 + \alpha_T (T - 293)], \quad (6)$$

где α_T – температурный коэффициент проводимости.

Используя полученное значение электрической проводимости из задачи (1) находим методом конечных разностей приближение φ^1 . Затем из задачи (2)

аналогично находим приближение T^1 . По полученному значению T^1 находим первое приближение глубины процесса обработки η^1 из задачи (3), также решая эту задачу методом конечных разностей. Затем процесс повторяем для $T = T^1$ и т.д. Подобная задача решается с использованием программы на ЭВМ.

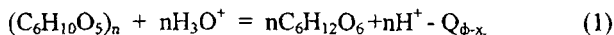
ОСНОВЫ МЕХАНИЗМА ЭЛЕКТРОГИДРОТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ФУРАЖНОГО ЗЕРНА

Пашинский В.А. (БГАТУ) г. Минск

Повышение переваримости фуражного зерна при их обработке достигается за счет деструкции (клейстеризации) высокомолекулярных соединений крахмала, клетчатки и перевода их в легко усвояемые углеводы: сахарозу, пентозу, глюкозу.

Одним из направлений решения этой проблемы является электрогидротермическая обработка (ЭГТО). Зерновая масса при ЭГТО представляет собой гетерогенную систему, в которой дисперсной средой является увлажняющий раствор, а дисперсной фазой – микрочастицы растительной ткани зерна.

Известно, что при достаточном количестве влаги и в некотором интервале температуры, действующим началом процесса клейстеризации крахмала является ион гидроксония H_3O^+ , который образуется в следствии диссоциации воды. Реакция процесса клейстеризации крахмала является эндотермической и протекает с поглощением энергии по схеме



где $Q_{\phi-x}$ – энергия расходуемая на деструктивные процессы, происходящие в зерновой массе.

Фарадеевский ток, $A \cdot m^{-2}$, протекающий через зерновую массу, равен:

$$j = \gamma_t E, \quad (2)$$

где γ_t – температурная характеристика проводимости зерна, $См \cdot м^{-1}$; E – напряженность электрического поля, $В \cdot м^{-1}$.

Для зерновой массы температурная характеристика проводимости, $См \cdot м^{-1}$, имеет вид:

$$\gamma_t = 0,27 (1 + 37 \cdot 10^{-3} \cdot \theta - 278 \cdot 10^{-6} \cdot \theta^2), \quad (3)$$

где $\theta = T_x - T_n$ – превышение конечной температуры T_x над начальной T_n , К.

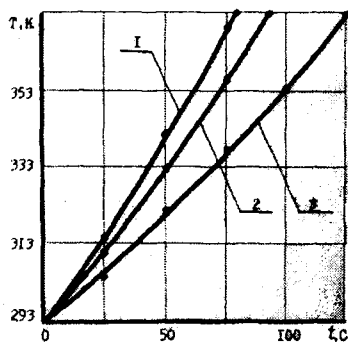


Рисунок 1 Кинетика нагрева зерновой массы при $E=2500 \text{ В}\cdot\text{м}^{-1}$ и влажности: 1 – 50%; 2 – 45%; 3 – 40%

Обработка электрическим током зерновой массы характеризуется высокими скоростями нагрева (рис.1).

В электрохимических технологиях скорость таких реакций в общем виде описывается уравнением

$$g = \frac{d(\Delta C)}{d\tau} = K_1 S \Delta C, \quad (4)$$

где K_1 – константа реакции, зависящая от физико-химических свойств реагирующего вещества, с^{-1} ; ΔC – движущая сила процесса моль $\cdot\text{м}^{-3}$; S – удельная площадь реакционной поверхности, $\text{м}^2\cdot\text{м}^{-3}$; τ – время обработки, с.

Движущаяся сила процесса зависит от количества электричества, прошедшего через зерновую массу и равна

$$\Delta C = 10^3 \frac{V^{K_p}}{S} \left[C_{2p} + \frac{10^{-3}}{FV^{K_p}} j d \tau \right] \text{th} \left(\frac{RT\varphi}{2ZF} \right), \quad (5)$$

где V^{K_p} – объем раствора в католите, м^3 ; C_{2p} – начальная концентрация ионов гидроксония в объеме раствора, $\text{ион}\cdot\text{л}^{-1}$; F – число Фарадея; R – универсальная газовая постоянная; T – температура обработки, К ; φ – двойной электрический потенциал, В .

Константа скорости реакции определяется из уравнения Аррениуса

$$K_1 = k \exp \left(-\frac{G}{RT} \right), \quad (6)$$

где k – предэкспоненциальный множитель, с^{-1} ; G – энергия активации клейстеризации крахмала, $\text{Дж}\cdot\text{моль}^{-1}$.

По результатам наших исследований $k = 2,52 \text{ с}^{-1}$, $G = 34,881 \text{ Дж}\cdot\text{моль}^{-1}$.

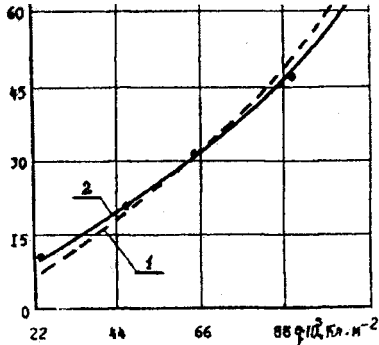


Рисунок 2 Кинетика степени
 клейстериза
 ции крахмала в процессе обработки:
 1 – экспериментальная; 2 - расчетная

Известно, что вследствие диссипации энергии электромагнитного поля, сопровождающейся выделением теплоты, происходит воздействие его на микроорганизмы. Температурный коэффициент $T\varepsilon$, характеризующий эффективность теплового воздействия электромагнитного поля на микроорганизмы, имеет вид:

$$T\varepsilon = \left(\frac{\varepsilon'_{cp}}{\varepsilon'_m} \right)^2 \left(\frac{\varepsilon''_m}{\varepsilon''_{cp}} \right), \quad (7)$$

где ε'_m , ε'_{cp} – действительные

составляющие комплексной диэлектрической проницаемости микроорганизмов и обрабатываемой среды; ε''_m , ε''_{cp} – мнимые составляющие комплексной диэлектрической проницаемости микроорганизмов и обрабатываемой среды.

В свою очередь, действительная и мнимая составляющие диэлектрической проницаемости зависят от частоты электрического тока:

$$\varepsilon'_m(f) = \varepsilon'_\infty + \frac{\varepsilon'_0 - \varepsilon'_\infty}{1 + f^2 t_m^2}; \quad (8)$$

$$\varepsilon''_m(f) = \frac{(\varepsilon'_0 - \varepsilon'_\infty) f t_m}{1 + f^2 t_m^2},$$

где ε'_0 , ε'_∞ – значения действительной составляющей диэлектрической проницаемости соответственно при $f \rightarrow 0$ и $f \rightarrow \infty$; t_m – постоянная времени релаксации.

При $T\varepsilon > 1$ температура микроорганизмов несколько выше, чем температура обрабатываемой среды, в которой находятся микроорганизмы. Следовательно, варьируя с $T\varepsilon$, можно получить эффект избирательного воздействия на микроорганизмы (табл. 1).

Таблица 1. Содержание микрофлоры в зерне, подвергнутом различной обработке

№ образца	Способ обработки зерна	Обсемененность микроорганизмами, тыс* г ⁻¹	
		аэробные бактерии	дрожжи и плесень
1	Дробление	3600,0	3,0
2	Запаривание	360,0	нет
3	Экструдирование	190,0	2,0
4	ЭГТО	125,0	0.18

Таким образом, электрический ток, как энергоноситель, выступает как комплексный технологический фактор, оказывающий термическое, электрофизикохимическое и биологическое (бактерицидное) воздействие на зерновую массу.

РЕГУЛИРУЕМЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ЗЕРНОДРОБИЛОК И ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЬНЫХ МАШИН

Прищепова Е.М., (БГАТУ) г. Минск; Цховребов А.В., БарГУ

Переход от механизации отдельных рабочих операций к комплексной механизации производственных процессов на основе применения комплектов взаимосвязанных машин расширил применение электропривода как средства регулирования потока обрабатываемого материала. Одним из типичных примеров применения регулируемого электропривода является привод дробилок и измельчительных машин.

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. При таких условиях расход электроэнергии на единицу перерабатываемой продукции будет наименьшим при одновременном сокращении продолжительности работы в течение суток.

Применение регулируемого электропривода в большинстве случаев позволяет обойтись без редукторов, ременных и других передач, что значительно упрощает их надежность и снижает эксплуатационные расходы.

Создание систем с частотно-регулируемым электроприводом, в которых управление частотой вращения осуществляется с одновременным контролем ряда технологических параметров, позволяет снизить не только энергопотребление, но и правильно организовать технологический процесс; другими словами, преобразователь частоты целесообразно использовать как составляющий элемент системы автоматизации технологического процесса дробления.

На рисунке 1 приведена система стабилизации загрузки зернодробилки.

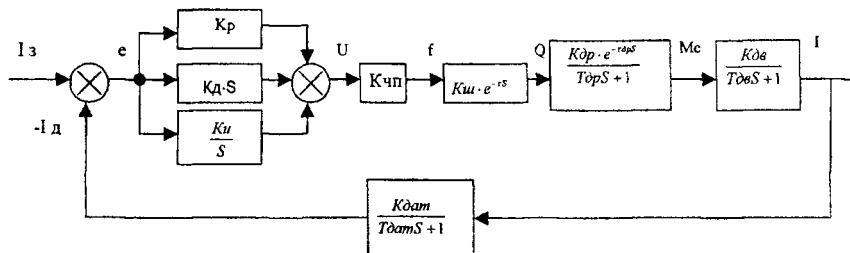


Рисунок 1 – Структурная схема системы стабилизации загрузки зернодробилки

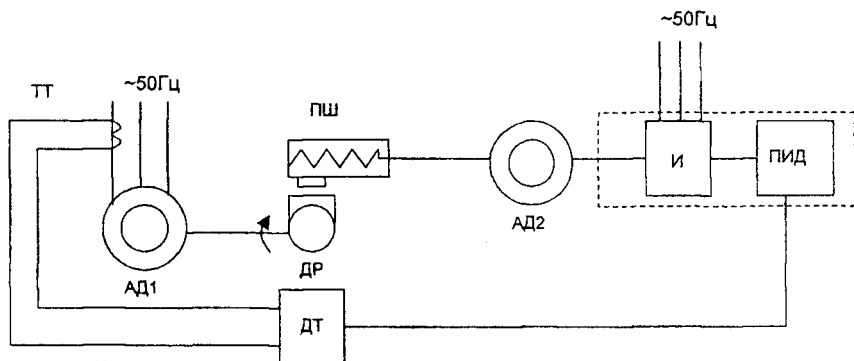


Рисунок 2 – Схема системы управления зернодробилкой
 ДР – дробилка; ДТ – датчик тока; ПИД – ПИД-регулятор; И – инвертор; ПШ – шнековый питатель; ТТ – трансформатор тока.

В зависимости от требования технологического процесса приводной электродвигатель может работать в режиме заданной преобразователем частоты питающего напряжения или в режиме стабилизации внешнего параметра.

Система стабилизации внешнего параметра строится на основе встроенного в ПЧ ПИД-регулятора, на входы которого подаются сигнал задания параметра и сигнал с датчика выходной величины. В данной схеме сигнал задания параметра – I зад, сигнал с датчика выходной величины – ток 4-20 мА с датчика тока ДТ.

Частотно регулируемый привод загрузочного транспортера в сочетании с измерительными преобразователями потребляемой дробилкой мощности, влажности и плотности измельчаемого материала позволяет создать систему управления с оптимизацией параметров.

Установлено, что при увеличении производительности дробилки до некоторого предела наблюдается снижение удельного расхода электроэнергии. При дальнейшем увеличении загрузки производительность дробилки растет медленнее, вследствие этого удельный расход электроэнергии α повышается. Причем, на величину мощности, при которой α минимален, кроме конструктивных параметров очень сильно влияют физико-механические свойства перерабатываемого продукта и диаметр отверстий решет. Колебания физико-механических свойств перерабатываемого продукта вызывают изменения оптимальной мощности в 2-2,5 раза, а диаметр решет – от 2 до 5 мм в 2,5-2,7 раза. Таким образом, минимум α не может быть определяющим критерием при выборе мощности привода и оптимального режима работы дробилки. Нужно также учесть, что при оптимальной мощности дробильная камера, как правило, используется не полностью. Имеется возможность роста производительности при незначительном увеличении α . Это позволит при заданном количестве продукта уменьшить время его переработки, таким образом снизить общие затраты. Поэтому в основу выбора мощности привода и режимов работы должна быть положена величина не удельного расхода, а удельных приведенных затрат. Наличие неконтролируемых параметров продукта (влажность, твердость, крупность, состав зерновой смеси и т.д.), изменения которых вызывают смещение минимума Z_y , не позволяют раз и навсегда установить оптимальные режимы дробления для каждого вида продукта и решета. Определить эти режимы по интуиции оператор не в состоянии. Вследствие этого возникает необходимость автоматического поиска режима работы, при котором удельные приведенные затраты минимальны или режима близкого к нему. Положение экстремума Z_y зависит только от переменных составляющих, стоимость электроэнергии и зарплата, постоянные составляющие влияют только на его значение.

На основании этого можно записать

$$z_y = \frac{P_1 \cdot \frac{G}{Q} \cdot \eta \cdot \varepsilon + C_m \cdot \frac{G}{Q}}{G} = \frac{P_1 \cdot \varepsilon}{Q} + \frac{C_m}{Q}$$

Отсюда следует, что нужно контролировать только два параметра: мощность P_1 и производительность Q , так как остальные величины постоянны. Но подобную операцию простыми техническими средствами осуществить довольно сложно. В связи с этим была взята зависимость, у которой положение экстремума практически совпадает с положением экстремума z_1 .

$$K_1 = f(P_1) = \frac{Q^2}{P_1}$$

Реализовать такую математическую операцию можно простыми техническими средствами.

Литература

1. А.М. Мусин. Электропривод сельскохозяйственных машин и агрегатов.- М.: Агропромиздат, 1985, 239с, ил.
2. В.А. Дайнеко, Д.В. Батраков, И.Н. Шаукат, Е.М. Прищепова. Структура и элементная база частотно – регулируемых асинхронных приводов/ Агропанорама №3, 2006. – с. 9...13

УСТРОЙСТВО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Русан В.И., Сердешнов А.П., Ковальчук О.Н. (БГАТУ); Солдатенко А.А., Шевчик А.Н., (ГУ «НИПТИХлебопродукт»); Викторovich В.В., (РУП «Институт энергетики АПК НАН Беларуси») Минск

В настоящее время для диагностирования асинхронных двигателей (АД) применяются как простые приборы, так и сложные измерительные комплексы отечественного и зарубежного производства. Наиболее доступные - это индикаторы, мегомметры, токовые клещи, и т.д. Более сложными приборами являются комбинированные многофункциональные аналоговые и цифровые приборы: тестеры, мультиметры. С их помощью контролируется ряд параметров: сопротивление, мощность, напряжение и т.д. Реже для диагностирования асинхронного двигателя используются осциллографы, анализаторы, и др., позволяющие осуществлять контроль параметров на более высоком качественном уровне.

Предлагаемые сегодня отечественными разработчиками новые приборы являются модернизацией более ранних разработок с целью улучшения их метрологических характеристик - повышения класса точности, быстродействия, а также введения дополнительных сервисных функций - программирования, оперативной памяти, мультиплексирования и т.д. Разрабатываемые приборы, как правило, стационарного применения, не универсальны, сложны в эксплуатации и, за счет высоких метрологических параметров, имеют высокую стоимость.

В Республики Беларусь нет системы комплексного диагностирования электродвигателей. Поэтому целью работы являлось создание автоматизированного устройства оценки состояния АД, для определения воздействий на электродвигатель, чтобы предотвратить отказы, восстановить его работоспособность и повысить срок службы.

Специалистами РУП «Институт энергетики АПК НАН Беларуси», ГУ НИПТИхлебопродукт и УО Белорусский государственный аграрный технический университет в 2004–2005 гг. такое устройство было разработано, изготовлено и проведены его приемочные испытания (таблица 1).

Таблица 1 Технические характеристики устройства диагностирования АД

Параметры устройства	Характеристик
Количество измерительных каналов, шт	8
Количество каналов измерения напряжения, шт	3
Диапазон измерения напряжения, В	0 – 400
Количество каналов измерения тока, шт	3
Приведенная погрешность измерения напряжения, %	1
Диапазон измерения тока, А	0 – 400
Приведенная погрешность измерения тока, %	1,5
Количество датчиков температуры, шт	0 – 8
Диапазон измерения температуры, °С	минус 30
Абсолютная погрешность измерения температуры, °С	0,5
Количество каналов измерения частоты вращения, шт	1
Диапазон измерения частоты вращения, об/мин	0 – 3000
Количество каналов измерения сопротивления обмоток	
Диапазон измерения сопротивления обмоток, Ом	0 – 1000
Количество каналов измерения сопротивления изоляции обмоток, шт.	1
Диапазон измерения сопротивления изоляции, МОм	0,5 – 20
Масса, кг	не более 15
Габаритные размеры, мм:	
- длина	600
- ширина	500
- высота	200
Вид связи с ПЭВМ	RS 232

При диагностировании измеряются и заносятся в энергонезависимую память следующие параметры:

- коэффициент искажения синусоидальности формы кривой напряжения K_U ;
- коэффициент n – ой гармонической составляющей напряжения $K_{U(n)}$;
- коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности K_{2U} ;
- коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности K_{0U} ;
- отклонение частоты Δf ;
- активная мощность;
- коэффициент мощности;
- действующее значение фазных напряжений;
- действующее значение фазных токов;
- температуру по каждому датчику;
- частота вращения.

Функциональная схема устройства приведена на рисунке 1.

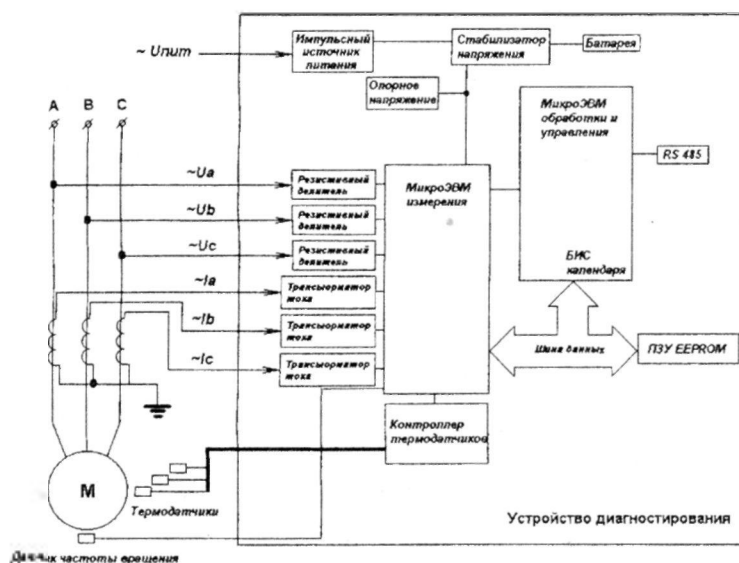


Рисунок 1 – Функциональная схема автоматизированного устройства диагностирования.

Также производятся измерения сопротивлений обмоток двигателя постоянному току и сопротивления изоляции. Снимается так же форма кривой напряжения.

После снятия диагностических параметров проводится их анализ.

Для управления автоматизированным устройством диагностирования и обработки измеренных данных разработан пакет программного обеспечения.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ПРИ ПОМОЩИ ДИСТАНЦИОННОГО БЕСПРОВОДНОГО КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ

Сибиркин Д.В., Шаукат И.Н., (БГАТУ) г. Минск

Диагностика и прогнозирование выхода из строя электродвигателей и другого электрооборудования на сельскохозяйственных объектах уменьшает эксплуатационные затраты и позволяет продлить срок его службы.

Контролируемые параметры можно прогнозировать, используя математические модели. На рисунке 1. представлены реализация изменения параметра в виде сплошной ломаной линии, штриховые линии, характеризующие экстраполяционную функцию с показателями V_C и α , и отклонения реализации Z от экстраполяционной функции.

Отклонение $Z(t)$ реализации от экстраполяционной функции в общем случае зависит от ее приращения. Это отклонение выражают через $V'\Delta u$, где V' – случайная величина скорости изменения отклонения. Тогда $Z(t)$ рассматривают как линейную элементарную случайную функцию, значение которой прямо пропорционально t_M .

Рассеивание отклонения учитывается функцией распределения $\varphi(Z)$, обуславливающей вероятность отказа элемента $Q[u(t_i+t_M) > u_{п}] = Q(t_M)$, т. е. вероятность того, что значение $u(t_i+t_M)$ окажется больше $u_{п}$. Рассматривают следующую альтернативу: или проводить предупредительное восстановление элемента в момент прогноза t_i , или оставить элемент работать в течение дальнейшего периода (t_i+t_M) , при котором с вероятностью $Q(t_M)$ он отказывает и с вероятностью $1-Q(t_M)$ его заменяют (регулируют) по окончании прогнозируемого периода.

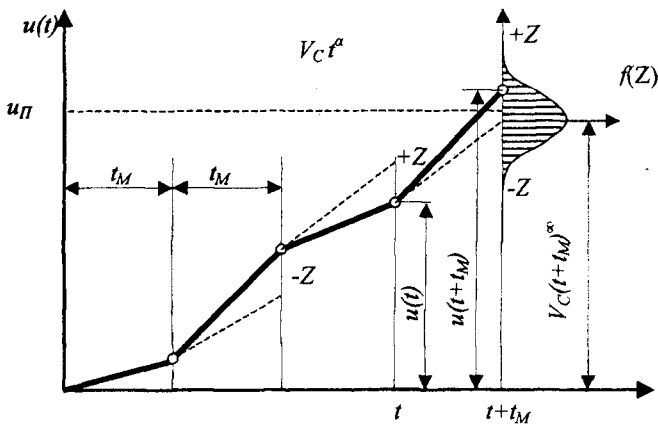


Рисунок 1 – Реализация измерения параметра конкретного элемента

Используют два критерия: вероятность безотказной работы и удельные издержки. При первом критерии определяют такой остаточный ресурс или допускаемое отклонение параметра, которые обуславливают заданную вероятность безотказной работы. Применение экономического критерия связано с соблюдением условия (целевой функции): вероятные удельные издержки, возникающие при устранении последствий отказа за прогнозируемый период t_M и при замене в конце периода, должны быть меньше удельных издержек на замену в момент прогноза t . Условие соблюдается в случае неравенства

$$\frac{C}{t} \geq \frac{A \cdot Q(t, t_M)}{T_{CP}} + \frac{C[1 - Q(t, t_M)]}{T_{CP}} \quad \text{или} \quad 1 \geq \frac{t[(A_0 - 1) \cdot Q(t, t_M) + 1]}{T_{CP}}, \quad A_0 = \frac{A}{C}$$

где T_{CP} – средний ресурс элементов.

Совместное использование математических моделей для прогнозирования остаточного ресурса и современных технических средств передачи и обработки данных позволяют осуществлять оперативный контроль за большим количеством отдельных устройств, электроприводов, рабочих машин и установок. Например, современные преобразователи частоты (ПЧ), получившие массовое применение в регулируемых приводах, позволяют получать информацию о нескольких параметрах состояния электропривода, что обеспечивает возможность диагностирования электродвигателя и другого оборудования в процессе работы. В ПЧ последних модификаций имеются сервисные функции «статистика работы» и «статистика аварий»,

предназначенные для определения выработанного ресурса электродвигателя и для регистрации в энергонезависимой памяти истории срабатывания защит и аварий с указанием причины и времени срабатывания защиты.

Одной из проблем получения информации о состоянии оборудования является создание надежного и недорогого канала передачи информации от каждого электроприемника и установки. Часто требуется контролировать объекты, находящиеся на небольших удалениях, но труднодоступные, когда условия прокладки проводных линий связи неблагоприятные. В таких случаях эффективны недорогие миниатюрные устройства, обеспечивающие надежную передачу данных на расстояние до 300 м на частоте 434,3 МГц. Приемная и передающая части таких устройств сопрягаются с микропроцессорными контроллерами и непосредственно с ПЭВМ, что обеспечивает оперативность контроля, возможность автоматического опроса передатчиков, установленных в зоне приема. Передатчики с малым энергопотреблением могут находиться в «спящем» режиме, что позволяет питать их от литиевых батарей со сроком службы до 3-х лет.

На кафедре электрооборудования сельскохозяйственных предприятий БГАТУ ведется работа по созданию устройств беспроводной передачи данных о состоянии электрооборудования на с.х. объектах. В данной работе обосновывается эффективность диагностики электрооборудования с помощью разрабатываемой системы сбора и передачи данных на основе микропроцессорных беспроводных устройств.

ВЛИЯНИЕ СХЕМ ЗАГРУЗКИ СКОРОМОРОЗИЛЬНЫХ АППАРАТОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАМОРАЖИВАНИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

Яценко А.П., Святецкий М.В., (Первомайский политехнический институт
НУК), г. Первомайск, Николаевской обл., Украина

Развитие и совершенствование холодильной технологии пищевых продуктов обеспечивается внедрением методов и средств замораживания с интенсивными режимами и минимальными потерями сырья при повышении технико-экономических показателей производственных процессов. Этим требованиям удовлетворяют аппараты интенсивного замораживания с воздушной системой охлаждения непрерывного действия, которые обеспечивают высокую степень автоматизации и механизации грузовых и технологических операций, непрерывность процесса и его синхронность с работой производственных

цехов, стабильнее распределение температуры и скорости воздуха в аппарате и тепловую нагрузку на компрессорное оборудование холодильной установки [2,3].

В используемых аппаратах, применяются следующие схемы перемещения грузов (рис.1) [3]: горизонтально (1) и вертикально (2) серпантинные, замкнутая (3), тележечная (4) и фронтальные с порядной (5) и по полочной (6).

Созданы математические модели и выполнены исследования влияния схем на характер распределения потоков тепла и массы вдоль длины аппаратов и на эффективность процесса замораживания с учетом работы систем холодоснабжения. Решения получены, как и в работе [1] численным методом.

При замораживании происходит резкое изменение плотности теплового и массового потоков на поверхности продукта: в периоды охлаждения (I) и дозамораживания (III) - более медленное; - в период (II) - замораживания (длительность превышает длительность этапов I и III) - пологий характер. В период II плотность теплового потока изменяется приблизительно в 1,3, а потока массы в 2,0 раза. Это подтверждает актуальность мероприятий, направленных на снижение неравномерностей распределения тепловых и массовых потоков вдоль длины аппаратов.

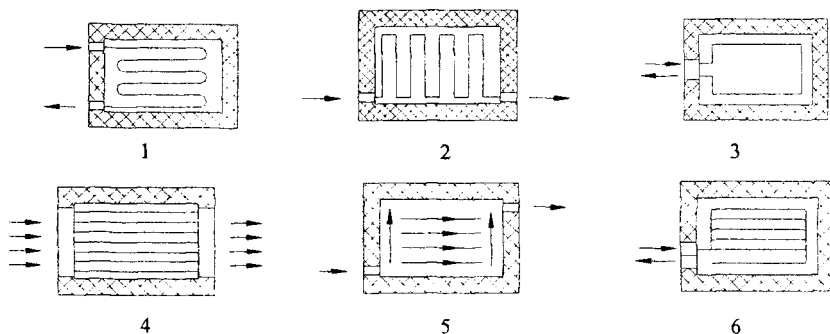


Рисунок 1 – Схемы конвейерных систем (обозначения в тексте)

Авторами предложена схема попочной загрузки с первоначальным размещением блоков продуктов со стороны зоны выгрузки аппарата и

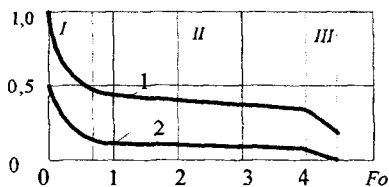
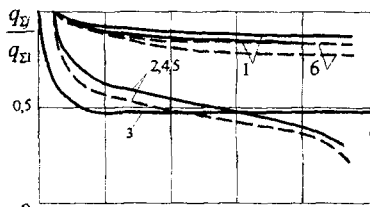
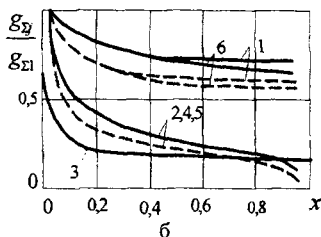


Рисунок 2 – Изменение потоков тепла (1) и массы

(2)



а



б

Рисунок 3 – Изменение потоков тепла (а) и массы (б) вдоль аппаратов различных конвейерных систем при числе поддонов – 216ед., толщине продукта - 0,06 м и скорости движения воздуха - 3...7 м/с)

вертикальным либо горизонтальным перемещением (в течение процесса замораживания) по высоте. При этом неравномерность тепловых и массовых потоков по длине аппарата не превышает 3-5%. Реализация такой схемы обеспечивает уменьшение времени процесса замораживания, периода между автоматическими оттайками оттайками, площади и соответственно массы воздухоохладителей, а также упрощается система автоматизации.

Литература

1. Красновец П.Г., Святецкий Н.В. Влияние параметров охлаждающего воздуха на интенсивность процессов тепло - и массообмена при замораживании пищевых продуктов. Холодильная техника и технология: Респ. межвед. науч. - техн. сб. -Киев: Техника. 1989. -Вып. 49. с. 86-91.

2. Яценко А.П. Разработка виброконвейерного скороморозильного аппарата поточного замораживания мяса. Автореф.дисс.канд.техн.наук- Одесса: ОТИХП,1985.-16с.

3. Яценко А.П., Кирибаева И.П., Оптимальные режимы работы скороморозильных аппаратов с воздушной охлаждающей средой. Тез. Докл. Всесоюз. научно-практической конференции "Искусственный холод в отраслях агропромышленного комплекса" (24-25 декабря 1985г., Кишинев) –М., 1987.- с.73.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ СКВАЖИННЫХ ВОДОЗАБОРОВ

Гагаков Ю.В., (БГАТУ) г. Минск

Одной из сложных задач скважин водозаборных сооружений является определение оптимальных параметров и режимов их работы, удовлетворяющих требуемому объему водопотребления при минимальных эксплуатационных затратах. Обследование и наладка скважин водозаборов должны проводиться как на стадии пуска водозабора, так и на действующих водозаборах периодически, по мере изменения параметров и режимов их работы. Разработанный алгоритм позволяет:

- произвести оценку работоспособности, энергетических затрат и необходимого дебита при отключении отдельных скважин, при замене насосного оборудования в отдельных или всех скважинах, при отключении отдельных нитей сборного водоводов, при том или ином режиме регулирования дросселированием насосно-силового оборудования и др.;

- произвести оптимизацию эксплуатационных режимов, позволяет выбрать регулирование насосно-силовых установок водозабора для обеспечения требуемого суммарного дебита при минимальных затратах электроэнергии. По результатам решения таких задач составляются оптимальные графики суточной, недельной и любого периода работы скважин водозабора;

- произвести оптимальное размещение имеющегося парка насосов по скважинам водозабора с целью получения требуемого или максимального суммарного дебита водозабора при оптимизации энергетических затрат при последующей эксплуатации;

- произвести процедуру вычисления контуров реального водозахвата каждой из скважин водозабора, что позволяет оценить как пространственное влияние водозабора на прилегающие территории, так и запланировать охранно-санитарные мероприятия по защите подземных вод.

Имитационная математическая модель водозабора представляет собой систему линейных уравнений, описывающих систему взаимодействующих скважин и систему нелинейных уравнения движения воды в трубопроводных коммуникациях [1, 2, 3]. Обе системы уравнений связываются функциями, описывающими расходно-напорные характеристики водоподъемного оборудования. Идентификация модели заключается в вычислении

коэффициентов уравнений функций, причем независимыми для первой системы являются дебиты скважин, а для второй – пьезометрические напоры. Совместное решение этих систем уравнений с "включением" тех или иных характеристик насосов отвечает различным режимам эксплуатации водозабора. В результате решения однозначно определяются зависимые переменные, являющиеся параметрами режима работы водозабора - положения уровней воды в скважинах, расходы по участкам трубопроводов, потребляемая мощность насосных агрегатов и т.д.

Для получения необходимой степени точности соответствия математической модели натуре требуется наличия фактических значений параметров системы, экспериментальное определение которых в массовом масштабе требует проведения огромного объема работ по обследованию водозаборов и необходимости наличия соответствующих приборов и оборудования на скважинах.

Основная задача оптимизации эксплуатации действующего водозабора сводится к следующему: необходимо выбрать из N – общего количества скважин водозабора k - скважин ($k \leq n$), обеспечивающих заданный режим водоотбора из интервала $q_{в} \leq q_{max}$. При минимуме энергозатрат на подачу

воды, которая пропорциональна затратам электроэнергии,

где Q_{max} – максимальная допустимая величина водоотбора, соответствующая утвержденным эксплуатационным запасам подземных вод;

Q_i – расход на i -ом участке сборного водовода, примыкающем к i -му узлу, м³/с;

H_i – напор насоса i -й скважины;

η_i – к.п.д. насосного агрегата, установленного на i -й скважине.

Данный алгоритм моделирования действующих скважинных водозаборов позволит находить рациональные режимы их работы, опираясь на эмпирические величины, непосредственно доступные измерению. Простота получения необходимых данных, несложность математического аппарата модели и возможность его реализации на ПЭВМ позволяет широко использовать предлагаемую модель действующего водозабора.

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. семина / 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. – семина. / Центр. Российский дом знаний- М., 1991. –С 40-51 .

РАСТИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАТИКА В ТЕПЛИЧНОМ ОВОЩЕВОДСТВЕ

Герасимович Л.С., Веремейчик Л.А., (БГАТУ), Минск

В технологии современного тепличного овощеводства устойчиво просматриваются две основные тенденции: 1) переход на индустриальную биотехнологию производства – беспочвенное выращивание овощей на искусственных субстратах или бессубстратная гидропоника и 2) компьютерное управление технологическими процессами и тепличным производством в целом.

В управлении биопродукционным процессом в теплицах получают развитие компьютерные информационные технологии инструментальной, визуальной и лазерной диагностики на основе распознавания образов, виртуальные централизованные телекоммуникационные информационно-советующие системы консалтинговых услуг, технико-технологического сервиса, объединяющие базы данных специализированных лабораторий, метеостанций, научных центров, обрабатывающие сложные массивы данных сортов растений, минеральных удобрений, искусственных субстратов, режимов питания, климатических условий и эпидемиологической обстановки в регионе.

Перечисленные проблемы и задачи порождают новое научное направление – «Растительная информатика», которое является предметом применения информационных технологий в инструментально-биологических исследованиях в тепличном овощеводстве.

Растительная информатика является неотъемлемой составной частью автоматизированных систем управления биопродукционным процессом в теплице.

Совокупность растений в теплице, как главная подсистема управления биопродукционного процесса, обладает такими системными свойствами как сложность, целостность, функциональность, динамичность, открытость, самоорганизованность (адаптивность), ограниченная определенность и управляемость и требует достаточно сложных автоматизированных информационно-аналитических многообъектных и многоцелевых систем контроля и управления (АИАСКУ).

Методологически важным аспектом растительной информатики в изучении биотехнологических систем является обоснованная возможность моделирования как средства познания, описания и функционирования этих систем на различных эпистемологических уровнях знаний: от исходного уровня 0, изучающего понятия, имена, термины и качественные связи, до самого высокого уровня 4, описывающего функционирование моделей с метакarakterистиками, позволяющими выполнять аналитическое описание этих систем.

Каждый эпистемологический уровень имеет свою инструментальную базу исследования – шкалу измерения процессов и элементов в системе, определяемых достигнутым уровнем научных знаний на основе шкалы наименований, порядковой, интервальной и, наконец, шкалы отношений.

Составной частью растительной информатики является растительная диагностика, расширяющая технико-технологические возможности АИАСКУ режимами питания, предотвращением заболеваний, лечением болезней и реабилитацией растений.

На различных эпистемологических уровнях моделирования развиваются существенно разные методы растительной диагностики. Наиболее распространен у технологов метод визуальной диагностики (уровень 1,2). Вторым основным методом является метод биохимической диагностики с разрушением ткани растений (уровень 2,3). Сейчас интенсивно разрабатываются экспресс-методы диагностики и неразрушающего контроля с использованием физических явлений в тканях растений и, в частности, оптических методов распознавания образов (уровень 3,4).

Указанные методы используются в автоматизированных и интеллектуально-советующих системах растительной информатики для управления биопродукционным процессом.

Направление растительной информатики многогранно и многоаспектно, так как включает в себя современные инструментальные средства для получения

первичной агробиологической информации, специальные информационные системы, средства для передачи, обработки разноплановой информации и управления производством.

Развитие этого направления позволяет в полной мере использовать накопленный научный и интеллектуальный капитал НИИ, вузов и промышленных предприятий в компьютерных информационных технологиях для энерго- и ресурсосберегающего тепличного овощеводства республики.

ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ НА СВИНОВОДЧЕСКИХ КОМПЛЕКСАХ

Жур А.А., (БГАТУ) г. Минск

В Белоруссии функционируют свиноводческие комплексы с промышленной технологией содержания животных. Несмотря на ряд экологических проблем, они являются высокоэффективным производством с высоким уровнем механизации. Свиноводческие комплексы оснащаются серийно выпускаемыми системами управления технологическими процессами на базе релейно-контактной логики. Данные системы функционируют по заранее заданному алгоритму коммутации аппаратуры и ее элементов. Необходимость модифицировать систему в процессе эксплуатации приводит к значительным затратам времени и материальных ресурсов. Кроме того используемая для этих целей элементная база, построенная в основном на контактных реле и транзисторных логических элементах не обеспечивает надежную работу системы и требует больших затрат квалифицированного труда на обслуживание. Опыт эксплуатации релейно-контактных систем выявил их низкую надежность и их функциональную недостаточность [1]. Данная система не обеспечивает дозированное кормление по станкам и стабильную влажность жидкого корма. Раздача жидких кормов на промышленных свиноводческих комплексах по типовому проекту может производиться ручным или автоматическим способом. Дозирование жидкого корма осуществляется по объему в мерной емкости (дозаторе), причем его уровень задается с помощью контактных электродных датчиков.

В автоматическом режиме типовая система может работать только при условии, что во все групповые станки подается одинаковая доза корма. Однако на практике для каждой групповой кормушки устанавливают разное количество

корма в зависимости от численности и физиологического состояния, животных в станке.

Поэтому на некоторых свиноводческих комплексах республики осуществлялась модернизация систем раздачи жидких кормов. Типовая релейно-контактная автоматика была заменена на микропроцессорную систему управления [2]. В качестве устройства управления применяется промышленный микропроцессорный контроллер. Учет расхода воды, при приготовлении и жидкого корма, при раздаче осуществляется электромагнитными расходомерами.

Анализ накопленного опыта и литературных данных показал на высокую технико-экономическую эффективность применения микропроцессорной техники для управления технологическими процессами приготовления и раздачи жидких кормов [3]. Успешное выполнение процессов приготовления и раздачи жидких кормов на крупных свинокомплексах затруднено из-за распределенности технологического оборудования и отсутствием или невозможностью визуального контроля его состояния. В тоже время применение микропроцессорной техники для построения систем управления создает определенные предпосылки для обеспечения оперативной диагностики и контроля технологического оборудования в процессе эксплуатации

Нами накоплен определенный опыт использования избыточных программно-технических возможностей управляющего микропроцессорного контроллера для оперативной диагностики оборудования при автоматизации приготовления и раздачи жидких кормов на промышленном свиноводческом комплексе [2]. Контроль технологического процесса осуществляется на основе информации получаемой от датчиков и органов управления. Технологические процессы приготовления и раздачи жидких кормов не начинаются, если не выполняются начальные условия. В алгоритм управления заложены возможные отказы оборудования и, соответственно, корректный выход из такого состояния без нарушения технологического процесса.

Очень важной функцией системы является контроль абсолютных значений токов электродвигателей раздаточных тележек и их соотношений. При возникновении разницы контролируемых значений производится ее сравнение с уставками и в зависимости от величины рассогласования автоматически выполняется отключение пускателя электродвигателя раздаточной тележки. Отключение электродвигателя предпринимается для исключения аварийных

ситуаций, когда по какой-то причине появляется значительное рассогласование токов. Эффективность системы проявляется также в повышении технологической дисциплины обслуживающего персонала и в получении информации, позволяющей оперативно выявлять и устранять неисправности, возникающие при выполнении технологических процессов.

Выводы:

1. Необходимое качество управления технологическими процессами приготовления и раздачи жидких кормов на промышленном свиноводческом комплексе может обеспечиваться только путем применения микропроцессорной техники.

2. Микропроцессорная система обеспечивает погрешность дозирования 3%, с возможностью оперативного изменения доз, сокращение времени раздачи в 1,5-2 раза и повышение надежности выполнения технологического процесса.

Литература

1. Мороз Ю.Д., Ширшова В.В. Эффективность механизации и автоматизации свиноводства. - Мн.: Ураджай. 1992.-127с.
2. Гируцкий И.И., Жур А.А. Программно-информационное обеспечение диагностики технологического процесса кормления свиней. Агропанорама. №1. 2003.с. 6-10.
3. Гируцкий И.И., Жур А.А. Пути повышения эксплуатационной надежности микропроцессорных систем управления. Агропанорама. №3. 2001. с.16-20.

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ПОДГОТОВКОЙ КОТЕЛЬНОЙ ВОДЫ

Крутов А.В., Галах Д.В. (БГАТУ) г. Минск

Котельные установки – крупные потребители топливно-энергетических ресурсов. От состояния оборудования котельных зависит эффективность их работы. Техническое состояние оборудования обуславливает ряд факторов, один из которых накипеобразование на поверхностях теплообменных аппаратов. Отложения карбонатных солей кальция и магния приводят к снижению теплопроводности поверхностей тепловых аппаратов и, как следствие, перерасходу топлива, выходу из строя оборудования. [1]

Проблеме накипи уделяется значительное внимание во всех технологических процессах, связанных с нагревом котельной воды. Для снижения жесткости воды применяются различные методы, однако одним из

наиболее перспективных является электромагнитная водоподготовка. Существует большое число конструкций аппаратов для электромагнитной водоподготовки. Отличаются эти аппараты в основном параметрами создаваемого электромагнитного поля, числом рабочих зон обработки и другими деталями реализации [2]. При этом уделяется недостаточное внимание вопросу подбора оптимальных параметров электромагнитного поля в зависимости от свойств исходной воды. Электромагнитное воздействие, дающее максимальный эффект при одних определенных условиях (исходная жесткость воды, температура, скорость движения воды) может оказаться малопригодным при других технологических режимах водоподготовки.

Предлагаемая автоматизированная система управления технологическим процессом водоподготовки обеспечивает подбор оптимальных параметров электромагнитного воздействия в зависимости от общей жесткости, водородного потенциала, скорости протекания воды по трубопроводу и температуры воды. Схема системы автоматизированного управления электромагнитной водоподготовкой представлена на рисунке.

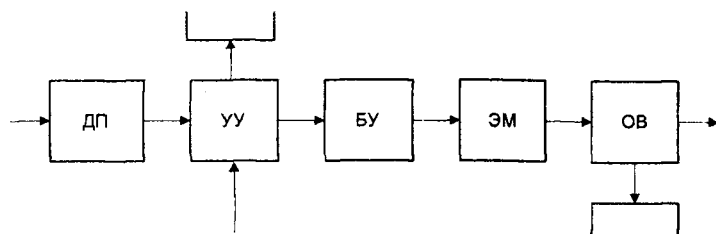


Рисунок Схема автоматизированной системы электромагнитной водоподготовки

ДП – датчики параметров исходной воды, УУ – устройство управления, БУ – блок управления электромагнитами, ЭМ – электромагниты, ОВ – обработанная вода, ДЖ – датчик жесткости обработанной воды, ЭК – электромагнитным клапаном.

В трубопроводе размещаются датчики параметров ДП исходной воды: датчик водородного потенциала, датчик температуры, датчик жесткости исходной воды, датчик скорости протекания воды. Сигналы с датчиков поступают на устройство управления УУ, представляющее собой микроконтроллер и компьютер, на котором установлено программное обеспечение, обеспечивающее подбор значения величины напряженности

магнитного поля [3]. Устройство управления обрабатывает полученные данные, выбирает оптимальный режим обработки воды и подает управляющий сигнал на блок управления БУ электромагнитами ЭМ. Далее по трубопроводу расположен ДЖ – датчик жесткости обработанной воды ОВ, имеющий обратную связь с устройством управления и электромагнитным клапаном ЭК. При отсутствии эффекта водоподготовки ЭК срабатывает и прекращается подача воды в теплообменный аппарат до устранения причин неработоспособности системы водоподготовки.

Посредством автоматизации электромагнитной водоподготовки обеспечивается гарантия умягчения воды, повышается надежность работы теплового оборудования, минимизируются энергозатраты по сравнению с традиционными устройствами электромагнитной водоподготовки. Снижение расхода топлива составит по предварительным оценкам 12-15 %, а теплогенерирующая мощность котлов повысится до 20 %.

Литература

1. Деев Л.В., Балахничев Н.А. Котельные установки и их обслуживание. - М.: Высш. шк., 1990. – 239 с.
2. Классен В.И. Омагничивание водных систем. - М.: Химия, 1982. – 296 с.
3. А.В. Крутов, Д.В. Галах. Электромагнитная водоподготовка в сельскохозяйственных котельных как один из путей энергосбережения // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве. Труды 5-й Международной научно-технической конференции (16-17 мая 2006 года, г. Москва, ГНУ ВИЭСХ). В 5-ти частях. Часть 3. Энергосберегающие технологии в животноводстве и стационарной энергетике. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2006. -272 с.

ОБМЕН ДАННЫМИ МЕЖДУ ПЕРСОНАЛЬНЫМ КОМПЬЮТЕРОМ И ПРОМЫШЛЕННЫМ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОМ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ В ЖИВОТНОВОДСТВЕ

Кучинский А.Ю., (БГАТУ) г. Минск

Промышленные микроконтроллеры прочно вошли в нашу жизнь. Без промышленных микроконтроллеров сегодня немыслимо управление сложными технологическими процессами, особенно там, где требуется большая точность и надежность, например в топливной энергетике, тяжелой промышленности и

других областях. В последнее время промышленные микроконтроллеры находят применение и в других областях, например, в сельском хозяйстве.

Однако с работой, связанной с обменом данными между персональным компьютером и промышленным микроконтроллером зачастую возникают трудности. Это связано со сложностью способов обмена данными.

Приведем пример простого способа обмена данными между приложением Microsoft Excel и промышленным микроконтроллером, который значительно упрощает данную процедуру и делает ее доступной пользователю с базовыми компьютерными знаниями. Обмен будем осуществлять на примере микроконтроллера PP41 фирмы В&R, управляющего процессами кормления и поддержания микроклимата. Структура многоуровневой системы управления этими процессами показана на рисунке. На нижнем уровне производится непосредственное управление технологическим процессом. На втором уровне, на основании программы, заложенной в микроконтроллер, происходит оптимизация параметров технологических процессов. На третьем, верхнем уровне происходит оптимизация на уровне предприятия экономических показателей. Связь между вторым и третьим уровнем (между персональным компьютером и микроконтроллером) может осуществляться через DDE либо через OPS-сервер.

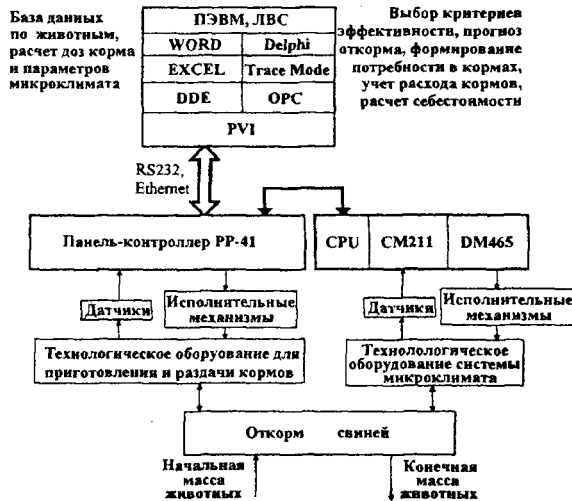


Рисунок. Структура многоуровневой системы при управлении технологическими процессами кормления и поддержания микроклимата

В примере производится обмен двумя переменными: температурой Т и количеством корма К. Для начала производим настройку файла конфигурации DDE-сервера. После настройки файл выглядит следующим образом:

```
TI=200
SI: "#Ina2000/Pvi", ERR="E1="
T: "CPU{/T}"
K: "CPU{/K}"
```

Здесь TI – частота опроса переменной сервером, она зависит от требований к технологическому процессу и его динамики, SI – настройки DDE-сервера, устанавливаются по умолчанию, CPU – имя микроконтроллера в системе.

При работе с Microsoft Excel создаем две кнопки для управления передачей данных на микроконтроллер. Далее в редакторе Visual Basic производим настройку макроса для обмена данными. Текст программы в Visual Basic выглядит следующим образом:

```
Private Sub CommandButton1_Click()
    ChannelNumber = Application.DDEInitiate("PVIDDE", "S1")
    Set SendValue = Worksheets("Лист1").Range("D7")
    Application.DDEPoke ChannelNumber, "CPU{/K}", SendValue
    Application.DDETerminate ChannelNumber
Private Sub CommandButton2_Click()
    ChannelNumber = Application.DDEInitiate("PVIDDE", "S1")
    Set SendValue = Worksheets("Лист1").Range("D8")
    Application.DDEPoke ChannelNumber, "CPU{/T}", SendValue
    Application.DDETerminate ChannelNumber
End Sub
```

В ячейках D7 и D8 листа 1 отобразятся температура и количество корма. Переменные Т и К являются общими для Microsoft Excel и микроконтроллера, поэтому при изменении переменной в ячейках D7 или D8 и нажатии соответствующей кнопки происходит передача значения переменной Т или К в микроконтроллер. Микроконтроллер РР41 оснащен панелью с экраном, поэтому для наглядности значения параметров Т и К выводятся на экран панели. Также эти параметры можно изменять и с панели. При изменении значений переменных Т и К с панели контроллера, их значения изменятся и в ячейках D7 и D8.

Как видно, данный способ обмена данными прост в настройке и не требует специальных знаний. Для настройки требуется небольшое количество времени.

В животноводстве такой обмен информацией носит прикладной характер. Например, при изменении количества животных в помещении, оператор задает новую дозу корма, необходимого для животных, при этом не вставая с рабочего места. Это значительно увеличивает производительность труда оператора, уменьшает трудозатраты на производство животноводческой продукции, а следовательно, снижает себестоимость продукции животноводства. Кроме того, данный способ обмена данными может использоваться не только в животноводстве, но и в других областях сельского хозяйства.

ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОДЫ В ЗЕРНЕ НА СВЕРХВЫСОКИХ ЧАСТОТАХ

В.В. Лисовский, (БГАТУ), г. Минск

В настоящее время накоплен большой экспериментальный материал по исследованию диэлектрических характеристик влажосодержащего зерна в сверхвысокочастотном (СВЧ) диапазоне [1-5]. Попытки создания моделей таких материалов на базе известных формул смесей зачастую приводят к результатам плохо согласуемым с экспериментальными данными. Это объясняется сложностью учета диэлектрических свойств воды с различной энергией связи с материалом. Энергетическая или линейная модель влажного зерна [1,2], позволяет устранить этот недостаток.

Рассмотрим диэлектрические свойства воды в зерне, считая ее состоящей из влаги моносорбции, полисорбции и свободной. Влагу с большой энергией связи, т.е. влагу моносорбции, будем рассматривать в первом приближении как постоянную составляющую, диэлектрические свойства которой подробно рассмотрены в [1]. Диэлектрические характеристики свободной воды также хорошо известны [6] и проявляются они при достаточно большой влажности зерна, поэтому основное внимание уделим рассмотрению свойств воды полисорбции. Отметим сначала некоторые характерные экспериментальные данные, которые можно выделить на примере пшеницы [1, 2]:

- изотерма $\alpha = f(W)$ содержит ярко выраженную точку сингулярности при $W_{кр} = 10\%$. Причем на длине волны 3 см $W > W_{кр}$ наблюдается резкое повышение чувствительности коэффициента ослабления α к влажности;

- производная $\frac{\partial \alpha}{\partial Q}$ при $W > W_{кр}$ отличается не больше чем на $\pm 10\%$ от $\alpha_{но}$ ($\alpha_{но}$ – постоянная ослабления для чистой воды, а Q – объемная влажность, т.е количество воды в единице объема) на длине волны 3 см;

- производная $\frac{\partial \alpha}{\partial T}$ является постоянной положительной величиной, зависящей от влажности на длине волны 3 см.

Первые два факта могут навести на мысль, что диэлектрические параметры воды полисорбции на длине волны 3 см равны диэлектрическим параметрам свободной воды. Это может быть в двух случаях: либо время диэлектрической релаксации свободной воды и воды полисорбции весьма близки, либо время релаксации воды полисорбции значительно больше времени

релаксации свободной воды и отстоит от времени $\tau = \frac{3}{2\pi}$ приблизительно на столько, на сколько меньше время релаксации свободной воды времени $\frac{3}{2\pi}$.

В этом случае правая ветвь распределения $\alpha(w)$ на длине волны 3 см приведет к такому значению постоянной затухания, как и для свободной воды.

(см. рис. 1.). Очевидно, что в первом случае $\frac{\partial \alpha}{\partial T}$ при $W > W_{кр}$ приведет к отрицательной величине, что противоречит экспериментальным данным.

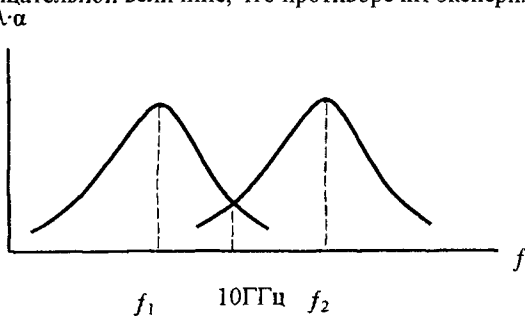


Рисунок 1 – Две возможные ситуации расположения пика диэлектрической релаксации для воды полисорбции в зерне

С другой стороны, если принять вторую гипотезу то $\frac{\partial \alpha}{\partial T} > 0$ и по мере увеличения влажности величина $\frac{\partial \alpha}{\partial T}$, как следует из линейной модели, будет возрастать, что также противоречит эксперименту.

Это противоречие, на наш взгляд, можно обойти, предположив, что время релаксации воды полисорбции соответствует второй гипотезе. Однако энергия активации для этой формы воды весьма мала (значительно меньше, чем для свободной воды), так что при увеличении температуры зерна время диэлектрической релаксации практически не изменится [1]. В этом случае при увеличении температуры зерна частота релаксации связанной воды будет значительно смещаться в более высокочастотную область, т.к. энергия активации для этой формы связи весьма велика ($10 \div 15 \frac{\text{ккал}}{\text{моль}}$) [1]. Но так как при $W > W_{\text{кр}}$ количество связанной воды всегда одинаково, то независимо от влажности, общее увеличение постоянной затухания при увеличении температуры на длине волны 3 см, не будет зависеть от влажности. Сказанное выше поясняет рисунок 2.б.

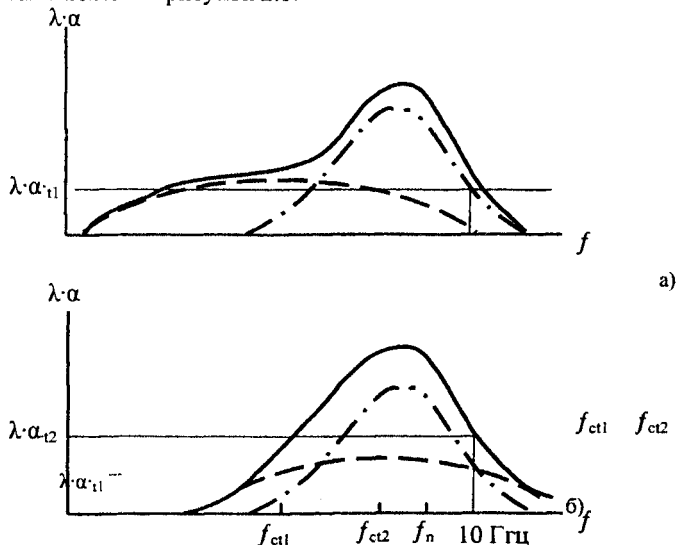


Рисунок 2 – Расположение пиков диэлектрической релаксации для воды в зерне при температуре t_1 (а) и t_2 (б), $t_2 > t_1$. Штриховой линией показан пик диэлектрической релаксации для связанной воды, штрих пунктирной – для воды полисорбции, сплошной линией – суммарный пик.

f_1 и f_2 резонансные частоты для связанной воды при температурах t_1 и t_2 соответственно. f_n – резонансная частота для воды полисорбции, α_{11} и α_{12} – постоянные затухания при температурах t_1 и t_2 .

Сделаем еще несколько замечаний. Не все мелкодисперсные материалы должны обнаруживать ярко выраженную точку сингулярности на диэлектрических изотермах. Действительно, если сам мелкодисперсный гетерогенный диэлектрик является смесью различных сухих фракций, неоднородных в отношении их способности сорбировать влагу, то переход от связанной влаги к влаге полисорбции будет происходить плавно по закону, близкому к предсказуемому формулой Бускера-Ивенса [1].

В этом случае следует ожидать, что $\frac{\partial \alpha}{\partial T}$ будет зависеть от величины влажности, что экспериментально подтверждено для некоторых капиллярно-пористых материалов при больших влагосодержаниях [1 - 2].

На рис.3 представлено условное изображение влажного мелкодисперсного капиллярно-пористого материала в виде слоистой (линейной) модели, где эквивалентный слой, соответствующий объему пор, занимаемых водой, также состоит из трех компонентов (влаги моно-, полисорбции и свободной).

Введем основные параметры, характеризующие влажный материал, которые понадобятся при рассмотрении математической модели диэлектрической проницаемости:

1. Насыпная плотность влажного и сухого материала

$$\rho = \frac{P}{V}; \quad \rho_c = \frac{P - P_n}{V} = (1 - W) \rho, \quad (1)$$

где: P – вес влажного материала;

P_n – вес воды;

V – объем, занимаемый влажным материалом;

W – весовая влажность.

2. Объемная влажность

$$Q = \frac{P_n}{\rho_n V} = \frac{\rho}{\rho_n} W = \frac{\rho_c W}{\rho_n (1 - W)} \quad (2)$$

В соответствии с [1] комплексная диэлектрическая проницаемость для линейной модели находится как

$$\sqrt{\epsilon^*} = \sqrt{\epsilon_n^*} q_n + \sqrt{\epsilon_c^*} q_c + \sqrt{\epsilon_v^*} q_v, \quad (3)$$

где: символы Н, С, В означают соответственно воду, сухой материал и воздух.

Так как

$$\text{Im} \epsilon_c^* = 0, \quad (4)$$

$$\text{Im} \epsilon_v^* = 0, \quad \text{Re} \epsilon_v^* = 1, \quad (5)$$

и кроме того,

$$q_n = Q, \quad (6)$$

$$q_c = \Phi, \quad (7)$$

и окончательно получаем:

$$\sqrt{\epsilon^*} - 1 = Q(\sqrt{\epsilon_n^*} - 1) + \Phi(\sqrt{\epsilon_c^*} - 1). \quad (8)$$

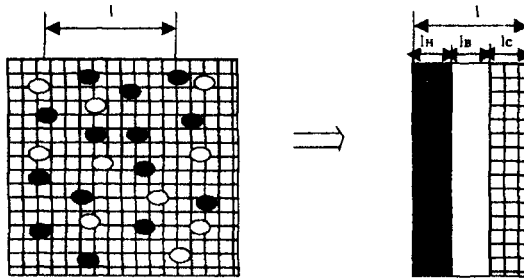


Рисунок 3 – Условное изображение влажного гетерогенного диэлектрика в приближении линейной модели.

⊕ – сухой материал; ● – поры заполненные водой; ○ – пустые поры.

Расчеты будем проводить (пренебрегая потерями в сухом материале и воздухе ввиду их малости) на основании следующих выражений:

При $W < W_{кр}$ (имеется только вода с большой энергией связи)

$$\alpha = \alpha_{nc} \frac{\rho_0}{\rho_n} \Phi \frac{W}{1-W}, \quad (9)$$

$$\beta = \beta_0 + \Phi(\beta_c - \beta_0) + \frac{\rho_0 W}{\rho_n(1-W)} \Phi(\beta_{nc} - \beta_0). \quad (10)$$

При $W > W_{кр}$ (добавляется полисорбции и свободная)

$$\alpha = \Phi \frac{\rho_0}{\rho_n} \left[\frac{W}{(1-W)} \alpha_{no} + \frac{\mu S_{y0}}{N_A \sigma} \alpha_{max} f_1(\alpha_m - \alpha_{no}) + \frac{W_{sp}}{1-W_{sp}} (\alpha_{nc} - \alpha_{no}) \right], \quad (11)$$

$$\beta = \beta_0 + \Phi \left\{ \frac{\rho_0}{\rho_n} \left[\frac{W}{1-W} (\beta_{no} - \beta_0) + \frac{\mu S_{y0}}{N_A \sigma} \alpha_{max} f_1(\beta_{mn} - \beta_{no}) + \frac{W_{sp}}{1-W_{sp}} (\beta_{nc} - \beta_{no}) \right] + \beta_c - \beta_0 \right\}. \quad (12)$$

Переход от α , β к ε' , ε'' и наоборот осуществляется по хорошо известным выражениям [1]:

$$\varepsilon' = \beta^2 - \alpha^2 / \beta_0^2, \quad (13)$$

$$\varepsilon'' = 2\alpha\beta / \beta_0^2. \quad (14)$$

Рассмотрим соотношение между влагой полисорбции и свободной воды в зерне. Отсутствие дополнительных точек сингулярности на диэлектрических изотермах зерновых культур указывает на то, что переход влаги из состояния полисорбции в состояние свободной воды происходит плавно по мере увлажнения материала. Поэтому для вычисления объемных концентраций воды полисорбции q_{np} и свободной q_{no} можно воспользоваться моделью Ивенса-Бускера [1], в которой предполагается, что скорость изменения данной формы влаги по мере увлажнения прямо пропорционально части сорбционного объема незанятой этой влагой. Следовательно, можно записать:

$$\frac{dq_{np}}{dQ} = 1 - \frac{q_{np}}{q_{npmax}}, \quad (15)$$

где: q_{npmax} – максимальная объемная концентрация влаги полисорбции.

Интегрируя (15) находим:

$$q_m = q_{mmax} \left(1 - e^{-C \frac{Q}{q_{npmax}}} \right), \quad (16)$$

где: C – константа интегрирования.

Для нахождения C учтем, что при $Q = Q_{np}$, $q_{np} = 0$

$$C = \frac{Q_{np}}{q_{npmax}}$$

Следовательно, q_{npmax} . Таким образом,

$$q_m = q_{mmax} \left(1 - e^{-\frac{Q_{np} - Q}{q_{npmax}}} \right). \quad (17)$$

Однако, в таком виде уравнением (17) пользоваться неудобно, поскольку все объемные концентрации, входящие в него, зависят от коэффициента заполнения Φ . В (17) должны входить параметры, которые характеризуют данный материал независимо от Φ . Очевидно, что под q_{npmax} можно понимать

максимальное количество монослоев, которое образует влага полисорбции. Так как вес воды, адсорбированной на поверхности твердой фазы [1]:

$$P_H = \frac{S}{\sigma} a_m \frac{\mu}{N_0} = \frac{a_m \mu}{\sigma N_0} S_{уд} (1 - W) \quad (18)$$

где: σ – посадочное место одной молекулы воды на поверхности твердой фазы;

S – общая поверхность материала, включая и поверхность твердой фазы;

a_m – количество монослоев воды;

μ – грамм-молекулярный вес воды;

N_0 – число Авогадро; P – вес влажного материала;

с учетом (18), можно записать

$$q_{нп\max} = \frac{\mu \rho_0 S_{уд}}{N_A \rho_H \sigma} a_{\max} \Phi \quad (19)$$

где: a_{\max} – максимальное возможное количество монослоев воды, занимаемых влагой полисорбции в данном материале.

С другой стороны:

$$Q_{кр} = \frac{\rho_0}{\rho_H} \Phi \frac{W_{кр}}{1 - W_{кр}} \quad (20)$$

Таким образом, окончательно имеем:

$$q_{нп} = \Phi \frac{\rho_0 \mu S_{уд}}{\rho_H N_A \sigma} a_{\max} \left\{ 1 - \exp \left[\frac{(W_{кр} - W) \sigma N_A}{(1 - W_{кр})(1 - W) \mu S_{уд} a_{\max}} \right] \right\} \quad (21)$$

Следовательно, функция

$$f_1(W, S_{уд}, a_{\max}) = 1 - \exp \left[\frac{(W_{кр} - W) \sigma N_A}{(1 - W_{кр})(1 - W) \mu S_{уд} a_{\max}} \right] \quad (22)$$

характеризующая соотношение между влагой полисорбции и свободной влагой, не зависит от коэффициента заполнения Φ .

В заключение рассчитаем диэлектрические характеристики модели пшеницы, приняв следующие величины:

$$\rho_0 = 1,2 \frac{\Gamma}{\text{см}}; S_{уд} = 220 \frac{\text{М}^2}{2}; a_{\max} = 100; W_{кр} = 0,1; \epsilon_{нсо} = \epsilon_{нмс} = \epsilon_{нкс} = 5,1;$$

$$\epsilon_{нст}(T = 20^\circ \text{C}) = 60; \epsilon_{нот} = \epsilon_{нос} = 80,4; \lambda_{нст} = 377 \text{ см}; \lambda_{нот} = 9,5 \text{ см};$$

$$\lambda_{нот} = 1,79 \text{ см}; \Delta H_{мс} = 15 \frac{\text{ккал}}{\text{моль}}; \Delta H_{нп} = 1 \frac{\text{ккал}}{\text{моль}}; \Delta H_{но} = 4,6 \frac{\text{ккал}}{\text{моль}}.$$

Для параметра распределения α выберем следующие величины $\alpha_{нс} = 0.5$; $\alpha_{нт} = 0.3$; $\alpha_{но} = 0$.

При расчетах принималось, что коэффициент заполнения изменяется с влажностью. Такое явление действительно имеет место, так как по мере увлажнения зерно набухает, а также меняется коэффициент трения между зернами. На основании собственных измерений и литературных данных, приведенных в работах 1 - 5 рассчитаны средние значения коэффициентов заполнения Φ в зависимости от влажности. Обобщенные результаты сведены в таблицу 1:

Таблица 1. Среднее значение коэффициента заполнения Φ в функции влажности W

W	8%	12%	16%	20%	24%	28%	32%	36%
Φ	0,60	0,54	0,50	0,44	0,43	0,41	0,39	0,37

Эти значения были выбраны при расчетах диэлектрических свойств модели влажной пшеницы. На рис.4 и 5 представлены теоретические зависимости $\epsilon'(W)$ и $\epsilon''(W)$ для рассмотренной модели пшеницы.

В связи с тем, что коэффициент поглощения с уменьшением длины волны возрастает ввиду наличия волнового множителя $\lambda/2\pi$, то для возможности сравнения на различных частотах строились зависимости действительной n и мнимой κ от влажности, которые определяются выражениями

$$\kappa = \lambda/2\pi \cdot \alpha, \quad (7)$$

$$n = \lambda/2\pi \cdot \beta, \quad (8)$$

Очевидно, что κ и n зависят от частоты исключительно за счет дисперсионных свойств влажного материала.

На графиках, приведенных на рисунках 6 и 7 видны характерные изломы на зависимостях κ от влажности на всех длинах волн. Интересно, что производная $\frac{\partial \kappa}{\partial W}$ возрастает при $\lambda < 20 \text{ см}$ при переходе через $W_{кр}$ и убывает при $\lambda > 20 \text{ см}$.

Этот характерный факт, который следует из наших теоретических положений. Он требует экспериментального подтверждения. Изменения n от влажности происходит более плавно и излом отчетливо заметен только на длине волны 2 см. Отметим, что линейная зависимость между κ и W является следствием убывания коэффициента заполнения Φ с ростом влагосодержания.

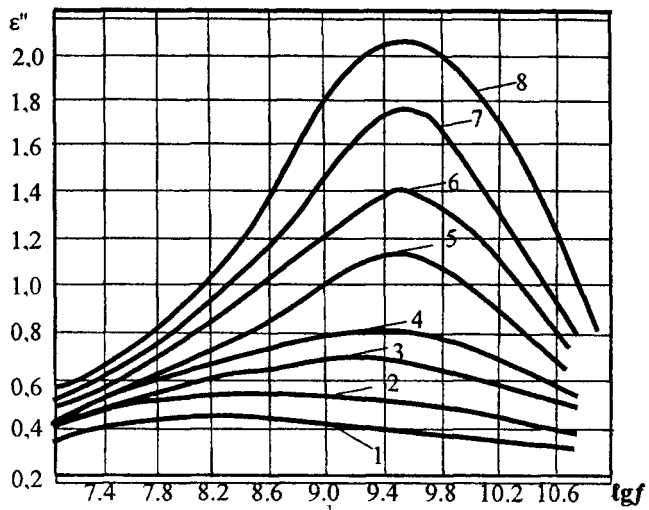


Рисунок 4 – Расчетные зависимости ϵ'' от частоты при различных влагосодержаниях для модели пшеницы при $t = 20^\circ\text{C}$. 1 – $W = 8\%$; 2 – $W = 12\%$; 3 – $W = 16\%$; 4 – $W = 20\%$; 5 – $W = 24\%$; 6 – $W = 28\%$; 7 – $W = 32\%$; 8 – $W = 36\%$.

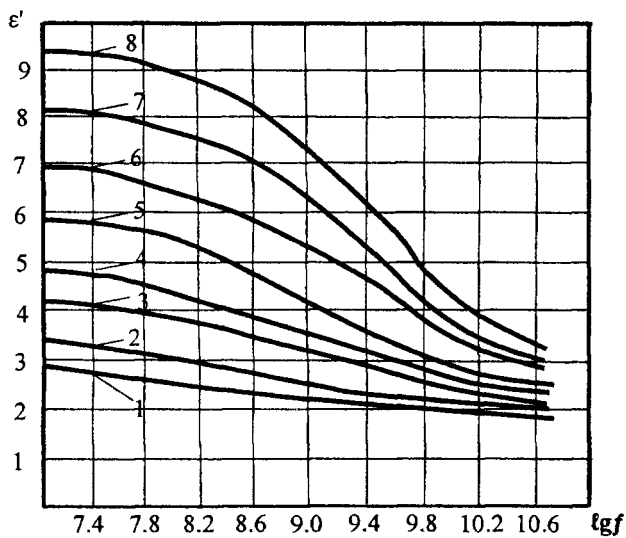


Рисунок 5 – Расчетные зависимости ϵ' от частоты при различных влагосодержаниях для модели пшеницы при $t = 20^\circ\text{C}$. Обозначения кривых см. рис. 4.

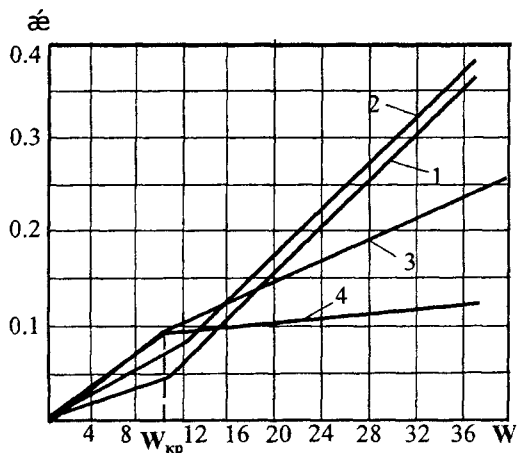


Рисунок 6 – Расчетные зависимости мнимой части коэффициента преломления α от влагосодержания на различных длинах волн λ при $t = 20^\circ\text{C}$. $\lambda = 2\text{см}$;

2 – $\lambda = 10\text{см}$; 3 – $\lambda = 50\text{см}$; 4 – $\lambda = 30\text{см}$.

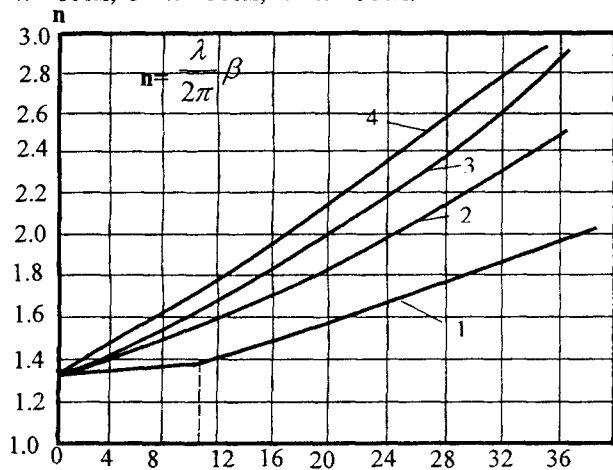


Рисунок 7 – Расчетные зависимости действительной части коэффициента преломления n от влагосодержания на различных длинах волн λ при $t = 20^\circ\text{C}$. Обозначения кривых см. рис.6.

Если бы такая зависимость отсутствовала и Φ оставая постоянным при любых влажностях, то зависимость ϵ от W при $V \sim W > W_{кр}$ была бы степенной функцией 2-го порядка (т.к. $\frac{W}{1-W} \sim W[1+W]$).

Таким образом, предлагаемая математическая модель диэлектрической проницаемости влажного зерна позволяет учитывать основные процессы физической адсорбции, предсказать два пика диэлектрической релаксации воды в зерне, объяснить ее аномальные свойства (положительный температурный коэффициент) и рассчитать зависимость комплексной диэлектрической проницаемости от влажности и температуры в сантиметровом диапазоне электромагнитных волн.

Литература

1. Бензарь В.К. Техника СВЧ-влажнометрии.-Мн. Вышэйшая школа, 1974. - 352с.
2. Секанов Ю.П. Влажометрия сыпучих и волокнистых материалов. - М.: ВИМ, 2001.-190с.
3. Болдырев В.М. Патрушев В.Л. Результаты исследования влажностной зависимости диэлектрических параметров зерна сильных пшениц на СВЧ.- В сб.: Исследования по математике, физике и химии.- Саратов, 1978, -С.12-23.
4. Бородин И.Ф. и др. Методика исследования электрических свойств зерновой массы в диапазоне частот 0-10¹⁰ Гц. Сборник научных трудов МИИСП.- М., 1976, -С.30-35.
5. Nelson, S. O., Dielectric properties of agricultural products — Measurements and applications. CEJDP Digest of Literature on Dielectrics, IEEE Trans. Elect. Insul., 1991, 26(5), 845-869.
6. Розенберг В.Н. Рассеяние и ослабление электромагнитного излучения атмосферными частицами.- Л.: Гидрометеоздат, 1972, -348с.

РЕЗОНАТОРНЫЕ УСТРОЙСТВА КОНТРОЛЯ ВЛАЖНОСТИ ВЫСОКОГО КЛАССА ТОЧНОСТИ В ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЯХ АПК

Лисовский В.В., Булко М.И (БГАТУ) г. Минск

В большинстве энергоемких технологических процессах при производстве, переработке и хранении сельскохозяйственной продукции требуется экспрессный и точный контроль влажности. Широкое применение для

этих целей получили сверхвысокочастотные методы и приборы на их основе. Это объясняется целым рядом преимуществ микроволнового диапазона для целей влагометрии и, в первую очередь, возможностью создания необходимого в сельскохозяйственном производстве типажа экспресс-влагомеров высокого класса точности.

Технологические процессы производства сахара, сухого молока, казеина и некоторых других сыпучих сельскохозяйственных материалов требуют точного контроля влажности исходного сырья и готовой продукции в диапазоне малых и сверхмалых влагосодержаний, что возможно на основе применения резонаторных методов СВЧ-влагометрии.

Резонаторные преобразователи обычно основаны на измерении добротности Q или ухода частоты Δf резонатора, частично заполненного влажным материалом (метод малых возмущений).

Получим общие соотношения связывающие резонаторные параметры преобразования и комплексную диэлектрическую проницаемость влагосодержащего материала ϵ^* . Примем, что резонаторная частота невозмущенного резонатора (в отсутствии образца) ω_0 , а при наличии образца в резонаторе ω ; изменение резонансной частоты объемного резонатора определяется известным выражением [2]:

$$\frac{\omega - \omega_0}{\omega_0} \approx - \frac{\int_V (\epsilon^* - 1) |\bar{E}_0|^2 dV}{2 \int_V |\bar{E}_0|^2 dV} \quad (1)$$

где \bar{E}_0 — вектор напряженности электрического поля,

V — объем резонатора.

Известно также [2], что $\omega'' = \omega' / 2Q_{od}$

где Q_{od} — ненагруженная добротность возмущенного резонатора.

Для резонаторов с высокой добротностью $\omega_0'' \ll \omega_0'$. Кроме того, в методе малых возмущений $\frac{\omega'' - \omega_0''}{\omega_0'} \ll 1$. С учетом сделанных замечаний — получаем

выражения для ϵ'' и ϵ'

$$\epsilon'' = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{Q_{od}} - \frac{1}{Q_0} \right] \frac{\int_V |\bar{E}_0|^2 dV}{\int_V |\bar{E}_0|^2 dV} \quad (2)$$

$$\epsilon' = 1 + \frac{\Delta\omega}{\omega_0} \frac{\int_V |\vec{E}_0|^2 dV}{\int_{\Delta V} |\vec{E}_0|^2 dV} \quad (3)$$

В реальных условиях объемный резонатор всегда связан с фидерной системой СВЧ -тракта влагомера, поэтому контролируется обычно ненагруженная добротность Q_H объемного резонатора. Учитывая, что

$Q_H^{-1} = Q_0^{-1} - Q_\infty^{-1}$ для ϵ'' получаем:

$$\epsilon'' = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{Q_{Hd}} - \frac{1}{Q_H} \right] \frac{\int_V |\vec{E}_0|^2 dV}{\int_{\Delta V} |\vec{E}_0|^2 dV} \quad (4)$$

Для цилиндрических резонаторов с возбуждением на волне E_{010} приведенные соотношения будут иметь вид:

$$\epsilon' = 1 + 0,27 \frac{\Delta\omega}{\omega_0} \frac{a^2}{d^2 [1 + 1,2d^2/a^2]} \quad (5)$$

$$\epsilon'' = 0,135 \left[\frac{1}{Q_{Hd}} - \frac{1}{Q_H} \right] a^2/d^2 [1 + 1,2d^2/a^2] \quad (6)$$

где: a — радиус резонатора,

d — диаметр образца.

Рассмотрим параметр преобразования при включении резонатора по проходной схеме. При таком включении резонатор имеет два элемента связи (на входе и на выходе). В этом случае переходное ослабление резонатора будет задаваться выражением [2]:

$$\Delta N = N_1 - N_0 = 20 \lg \frac{Q_{HO}}{Q_{Hd}} = 8,686 \ln \left(1 + \frac{2Q_{HO}}{B} \epsilon'' \right) \quad (7)$$

где B — коэффициент, зависящий от типа резонатора.

Для нахождения связи между ΔN и W воспользуемся линейной моделью, при этом учтем, что в диапазоне малых и сверхмалых влагосодержаний ϵ_c'' собственно сухого материала может оказаться сравнимым с ϵ_n'' вызванным водой в образце:

$$\frac{\pi}{\lambda} \frac{\epsilon_H''}{\sqrt{\epsilon_H''}} \Phi \frac{\rho_c}{\rho_H} W + \frac{\pi}{\lambda} \frac{\epsilon_c''}{\sqrt{\epsilon_c''}} \Phi = \frac{\pi}{\lambda} \frac{\epsilon''}{\sqrt{\epsilon''}}, \text{ откуда находим} \quad (8)$$

$$\epsilon'' = \Phi \left(\frac{\rho_c}{\rho_H} \frac{\epsilon_H''}{\sqrt{\epsilon_H''}} W + \frac{\epsilon_c''}{\sqrt{\epsilon_c''}} \right) \left[\Phi (\sqrt{\epsilon_c''} - 1) + 1 \right] \quad (9)$$

При выводе (9) было принято во внимание, что при $W \ll 1$,

$$1 + \Phi(\sqrt{\varepsilon'_c} - 1) \left\{ \Phi \frac{\rho_0}{\rho_H} \frac{W}{1-W} (\sqrt{\varepsilon'_c} - 1) \right.$$

Комбинируя (8) и (9) получаем для параметра преобразования ΔN следующее соотношение :

$$\Delta N = 8,686 \ln \left[1 + \frac{2Q_{H0}}{B} \Phi \left(\frac{\rho_c \varepsilon'_H}{\rho_H \sqrt{\varepsilon'_c}} W + \frac{\varepsilon'_c}{\sqrt{\varepsilon'_c}} \right) \right] \left[\Phi(\sqrt{\varepsilon'_c} + 1) \right] \quad (10)$$

Результаты экспериментальной проверки полученных соотношений для модельных материалов в диапазоне малых влагосодержаний приведены в [3]. Для резонатора с размерами $a = 84$ мм; $d = 8,2$ мм на частоте 1,4 ГГц нагруженная добротность Q_{H0} , измеренная по известной методике [1] оказалась равной 2400, а начальное ослабление 23 дБ. Из приведенных зависимостей следует хорошее совпадение экспериментальных данных с теоретическими рассчитанными по выражению (10).

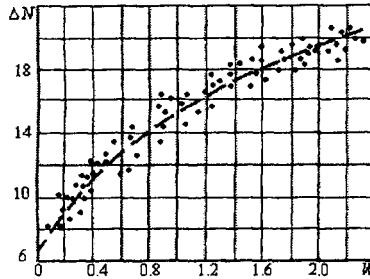


Рисунок 1 – Зависимость переходного ослабления ΔN объемного резонатора на волне типа E_{010} от влажности кварцевого песка на частоте 1,4 ГГц; кривая - - расчет

Параметр преобразования Δf в рамках линейной модели имеет вид:

$$\Delta f = \frac{f_0}{B} \left\{ \left[\Phi \frac{\rho_0}{\rho_H} \frac{W}{1-W} (\sqrt{\varepsilon'_c} - 1) + \Phi(\sqrt{\varepsilon'_c} - 1) + 1 \right]^2 - 1 \right\}. \quad (11)$$

Рассмотренный метод основан на измерении только одного параметра, связанного с ε' (W , Φ) либо ε'' (W , Φ). Исключить влияние коэффициента заполнения Φ можно не выделяя в явном виде влажность материала W , введением так называемого А-параметра [3]:

$$A(W) = k \frac{\varepsilon''}{\varepsilon' - 1}, \quad (12)$$

$$\text{где } k = \frac{1 + \sqrt{\epsilon'}}{\sqrt{\epsilon'}} = 1 + 2 \text{ (при изменении } \epsilon' \text{ от } 1 \text{ до } \infty)$$

Измеряя переходное ослабление ΔN резонатора и уход его резонансной частоты Δf , что не вызывает принципиальных трудностей в технической реализации, получаем алгоритм определения влажности, свободный от влияния коэффициента заполнения Φ :

$$A(W) = k_1 \frac{\exp(\Delta N / 8.686) - 1}{\Delta f}, \quad (13)$$

$$\text{где } k_1 = k_0 \frac{f_0}{2Q_{H0}}.$$

На основе этого алгоритма построены принципиальные схемы СВЧ-влажномеров табака, чая, продуктов свеклосахарного производства, сухого молока и казеина.

Диэлектрические свойства исходных компонентов при производстве сахара и сухого молока диктуют применение как весьма чувствительных методов, так и обязательного контроля двух параметров, связанных с ϵ' и ϵ'' этих материалов. Этим условиям удовлетворяет резонаторный двухпараметрический метод и модификации серийных приборов семейства «Микрорадар 114» производства ООО «Микрорадар-сервис». Производство сухого молока в настоящее время основано на высушивании исходного сырья в распылительных сушилках, причем влажность в этих процессах является фактором, определяющим качество готового продукта.

Технологический процесс получения сухого молока предполагает контроль влажности в нескольких точках:

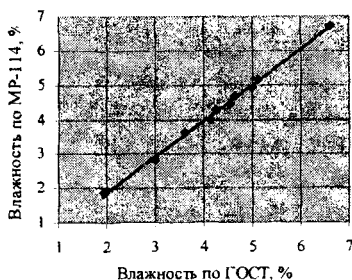
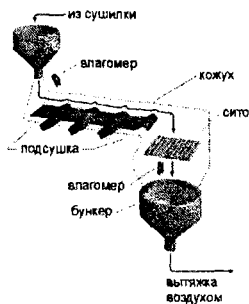
- на выходе продукта из конвекционного сушильного агрегата;
- после вибросита перед подачей готового продукта на расфасовку.

Применение Микрорадар 114 для автоматизации технологического процесса сушки молока позволяет управлять работой конвекционных сушилок и поддерживать влажность в необходимых пределах. Пересушка продукта ведет к распаду белков и ухудшению качества сухого молока при значительном перерасходе тепловой энергии, недосушка также влияет как на качество так и на снижение срока хранения.

Внешний вид одного из вариантов датчика и технологическая схема процесса с вариантами установки прибора приведены на рис. 2.

Диапазон измерения влажности сухого молока 2-7%. Основная абсолютная погрешность измерения в этом диапазоне $\Delta W \leq 0,3\%$. Градуировочная зависимость для сухого молока приведена на рис.2б.

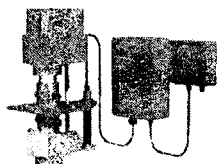
Установка резонаторного СВЧ-влажмера МР-114 для непрерывного контроля влажности в свеклосахарном производстве также возможна в различных точках технологической линии (рис.3), что позволит автоматизировать основные технологические процессы изготовления сахара.



а)

б)

Рисунок 2 – Варианты установки влагомера «Микрорадар-114» в различных точках технологического процесса производства сухого молока (а) и его градуировочная зависимость (б)



а)



б)

Рисунок 3 – Внешний вид «Микрорадар-114»(а) и варианты его установки в технологической линии производства сахара (б).

Выводы

Применение двухпараметровых методов в СВЧ-влажметрии сыпучих сельскохозяйственных материалов позволяет существенно повысить точность измерения влажности за счет учета влияния плотности (коэффициента

заполнения), указанные методы, однако, эффективны при сравнительно небольших колебаниях плотности (в пределах 2,5 – 3 раза) и относительно узком диапазоне изменения влагосодержания. Дальнейшее повышение точности измерения влажности возможно за счет комбинации СВЧ-методов с другими физическими, например СВЧ-акустическим [3].

Литература

1. Бензарь В.К. Техника СВЧ-влагометрии. – Мн. Вышэйшая школа, 1974. – 352с.
2. Renhart, I.: The Control of Moisture of Rocks by Methods of Microwave Aquametry. 4th International Conference on “Electromagnetic Wave Interaction with Water and Moist Substances”, Weimar, 2001, pp.372-379.
3. Lisovsky V.V. Automatic Control of Moisture in Agricultural Products by Methods of Microwave Aquametry. 6th International Conference on “Elektromagnetic Wave Interaction with Water and Moist Substances”. Weimar, Germany. 2005. pp.375 – 383.

КОНТРОЛЬ ВЛАЖНОСТИ СЫПУЧИХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДАМИ СВЧ-ВЛАГОМЕТРИИ

Лисовский В.В., Булко М.И., Матвеевко В.В., (БГАТУ) г. Минск

Проблема повышения конкурентоспособности сельскохозяйственного сырья и продуктов переработки становится все более острой для отечественных товаропроизводителей.

Влажность является тем ключевым параметром, от достоверности которого во многом зависит решение задачи максимального снижения себестоимости производства продукции, при сохранении ее высокого качества и оптимальной производительности оборудования.

Соблюдение технологической дисциплины при производстве и переработке сельскохозяйственной продукции базируется на получении своевременной и достоверной информации о ходе производственных процессов, в том числе и о влажности контролируемого материала

Принятая в настоящее время методология системного подхода к разработке влагометрических систем для сельскохозяйственного производства предполагает наличие четырех типов приборов экспрессного контроля влажности с различными метрологическими характеристиками [1], причем сверхвысокочастотные (СВЧ) влагомеры целесообразно применять в качестве лабораторных и поточных в тех случаях, когда требуется высокая точность

измерений (+0,3-0,5%абс). Установлено, что экономический эффект от их внедрения значительно превосходит достаточно высокую стоимость этих приборов. Так, например, ошибка в определении влажности зерна в мукомольном производстве при доувлажнении перед помолом на 0,5% абс. способна перевести всю партию муки из высшего сорта в первый или даже второй, при существенном, до 5-7% уменьшении выхода готовой продукции. Потери мелькомбинатов при этом составят 30-75 рублей на тонну перерабатываемой продукции. Аналогичные примеры можно привести по сушке зерна, свеклосахарному и пивоваренному производству, а также по производству сухого молока, казеина, табака и др.[2]

В настоящее время в АПК все более широкое применение получают СВЧ-методы контроля влажности благодаря целому ряду их преимуществ перед другими электрофизическими методами. В первую очередь на базе СВЧ-методов создаются влагомеры высокого класса точности. Многолетний опыт разработки экспресс-влагомеров в лаборатории СВЧ-влагометрии БГАТУ с организацией их серийного выпуска научно-производственным предприятием «Микрорадар» (Минск) говорит о перспективности этого направления в сельскохозяйственном приборостроении. За почти тридцатилетний период деятельности лаборатории было разработано и внедрено свыше 40 различных приборов и устройств контроля влажности, основанных на всех основных методах СВЧ-влагометрии. В настоящее время НИП «Микрорадар» серийно выпускаются пять базовых моделей (в нескольких модификациях каждая) влагомеров семейства «Микрорадар 101...114», основанных на амплитудных (по поглощению СВЧ-энергии) и резонаторных параметрах преобразования

Выбор микроволнового диапазона электромагнитных волн диктуется диэлектрическими свойствами самой воды, определяющими высокую точность и чувствительность метода к содержанию влаги в зернопродуктах при минимальном влиянии различных мешающих факторов (сорт, тип, вид зерна, район произрастания и пр.). В то же время, для повышения точности измерения влажности, необходим учет влияния плотности и температуры (либо их стабилизация или автоматическая коррекция), что характерно для всех косвенных методов.

Диэлектрические свойства большинства сельскохозяйственных продуктов в функции влажности $\epsilon^*(W)$ можно достаточно точно описать на основании линейной модели [2], откуда вытекает, что действительная $\epsilon'(t)$ и мнимая $\epsilon''(t)$

части комплексной диэлектрической проницаемости ϵ^* (а также коэффициенты затухания $\alpha = \frac{\pi \epsilon''}{\lambda \sqrt{\epsilon'}}$ и фазы $\beta = \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\epsilon'}$) зависят не только от влажности W , но и от плотности исследуемого материала ρ . В связи с этим рассмотрим два варианта использования микроволновых влагомеров в технологических процессах переработки сельскохозяйственной продукции.

Технологический процесс сушки зерна позволяет достаточно просто стабилизировать поток контролируемого материала. В данном случае достаточно измерять только один параметр, например результирующий коэффициент затухания электромагнитной волны во влагосодержащем материале α_H (при условии автоматической температурной коррекции). Таким образом, зависимость между затуханием N в образце толщиной d и влажностью будет иметь вид

$$N = 8,686 \cdot \alpha_H \cdot W \cdot \rho \cdot d \quad (1)$$

Коэффициент затухания α_H в рамках линейной модели будет определяться выражением:

$$\alpha_H = \alpha_{HC} \cdot q_{HC} + \alpha_{HP} \cdot q_{HP} + \alpha_{HO} \cdot q_{HO}, \quad (2)$$

где: $\alpha_{HC}, \alpha_{HP}, \alpha_{HO}$ — коэффициенты затухания электромагнитной волны в воде связанной, полисорбции и свободной;

q_{HC}, q_{HP}, q_{HO} — объемные концентрации воды связанной, полисорбции и свободной.

Из (2) имеем:

$$\alpha_H = \Phi \frac{\rho_d}{\rho_H} \left[\frac{W}{(1-W)} \alpha_{HO} + \frac{\mu S_s}{N_A \sigma} a_{max} f(w, S_s, a_m) (\alpha_{HP} - \alpha_{HO}) + \frac{W_{cr}}{1-W_{cr}} (\alpha_{HC} - \alpha_{HO}) \right] \quad (3)$$

где: Φ — коэффициент заполнения;

ρ_d, ρ_H — плотность сухого материала и воды;

μ — грамм молекулярный вес воды;

S_s — удельная поверхность зерна (пшеницы);

$N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$;

$\sigma = 3 \cdot 10^{-8}$ посадочное место одной молекулы воды на поверхности твердой фазы;

$a_{max} = 100$, максимальное количество монослоев воды занимаемых влагой полисорбции в данном материале;

$W_{cr} = 10\%$, критическая влажность, соответствующая переходу от связанной воды в зерне к воде полисорбции.

$f_1(w, s_s, a_m)$ — функция, характеризующая соотношение между свободной и связанной водой.

Функция $f_1(w, s_s, a_m)$ в соответствии с моделью Ивенса-Бускера [2], в которой предполагается, что скорость изменения данной формы влаги по мере увлажнения прямо пропорциональна части сорбционного объема не занятой этой влагой. Следовательно можно записать:

$$\frac{dq_{HP}}{dQ} = 1 - \frac{q_{HP}}{q_{HPmax}} \quad (4)$$

где: q_{HP} — объемная концентрация влаги полисорбции;

$$Q = \frac{P_H}{\rho_H \cdot V} \text{ — относительная объемная влажность материала, т.е.}$$

относительное количество воды (P_H) в единице объема ($V = q_{HC} + q_{HP} + q_{H0}$);

Интегрируя (4), с учетом, что при $Q = Q_{HP} \cdot q_{HP} = 0$, получаем

$$q_{HP} = q_{HPmax} \cdot \left(1 - e^{-\frac{Q_{cr} - Q}{q_{HPmax}}} \right) \quad (5)$$

Выражением (5) в таком виде пользоваться неудобно т.к. все входящие в него объемные концентрации воды зависят от коэффициента заполнения Φ . Зная удельную поверхность материала S_s и максимальное количество монослоев воды полисорбции a_{max} , q_{HPmax} можно найти следующим образом:

$$q_{HPmax} = \frac{\mu \cdot \rho_d \cdot S_s}{N_A \cdot \rho_H \cdot \sigma} \cdot a_{max} \cdot \Phi, \text{ тогда}$$

$$q_{HPmax} = \Phi \cdot \frac{\rho_0 \cdot \mu \cdot S_s}{\rho_H \cdot N_A \cdot \sigma} \cdot a_{max} \left[1 - \exp \frac{(W_{cr} - W) \cdot \sigma \cdot N_A}{(1 - W_{cr}) \cdot (1 - W) \cdot \mu \cdot S_s \cdot a_{max}} \right] \quad (6)$$

Следовательно функция $f_1(w, s_s, a_{max})$ будет определяться выражением:

$$f_1(w, s_s, a_{max}) = 1 - \exp \frac{(W_{cr} - W) \cdot \sigma \cdot N_A}{(1 - W_{cr}) \cdot (1 - W) \cdot \mu \cdot S_s \cdot a_{max}} \quad (7)$$

Результаты расчета, с учетом того, что коэффициент заполнения Φ является функцией влажности приводят к зависимости, отличающейся от градуировочной для Микрорадар 113 не более чем на 10% (рис. 1.)

Однако в мукомольном производстве, в связи с необходимостью доувлажнения зерна с 12-14% до 15,5-16% необходимо учитывать влияние свободной и связанной воды т.е. переходить на другой алгоритм расчета. Для этой цели была разработана новая модификация влагомера с двумя микроволновыми сенсорами (на входе и выходе увлажняющей машины) и одним вычислительным блоком, работающим по двум алгоритмам

Второй алгоритм также основан на уравнении (1), но $\alpha_H = \alpha(W)$ находится расчетным путем по известным диэлектрическим характеристикам свободной воды.

$$N = N_0 + \alpha(W) \cdot k \cdot (W - W_0); \quad (8)$$

Результаты расчета по принятой модели зерна (пшеницы) для температуры $t=20^\circ\text{C}$ и длины волны $\lambda = 3.2\text{cm}$ приведены на рис. 1.(пунктир – для свободной воды)

Результаты экспериментальных исследований, а также опыт производственной эксплуатации автоматических систем доувлажнения на базе влагомера «Микрорадар 113-2» (рис. 2, а) доказывают возможность высокой точности поддержания конечной влажности ($\pm 0,2\%$) [2].

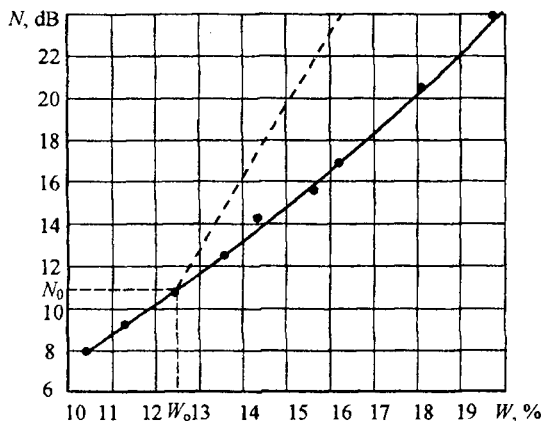


Рисунок 1 – Расчетная зависимость N для микроволнового датчика №1 (—) и №2 (--) в функции влажности W , ● – экспериментальные значения для пшеницы натуральной влажности

Лабораторный СВЧ-влагомер зерна «Микрорадар-101» разработан в соответствии с ТУ РБ 14792938.001-98. Он предназначен для точного

экспрессного измерения влажности зерна, зернопродуктов, муки и других сыпучих материалов в лабораторных и цеховых условиях предприятий АПК. Влагомер разработан и изготовлен в соответствии с ГОСТ 29027-91 и международным стандартом МОЗМ Р59 и аттестован Госстандартом РБ как средство измерения влажности повышенной точности (абсолютная погрешность измерения влажности не превосходит 0,35 – 0,5% в зависимости от вида контролируемого материала в диапазоне 10 – 25%). Прибор внесен в Госреестр РБ как базовая модель типоразмерного ряда амплитудных СВЧ-влагомеров серии «Микрорадар» под №03 090574 98, имеет сертификат соответствия и внесен в Госреестр РФ под №17787-98. Влагомер МР-101 положил начало интеллектуализированному ряду сверхвысокочастотных измерителей влажности для сельскохозяйственного производства. Внешний вид прибора приведен на рис.2,б.

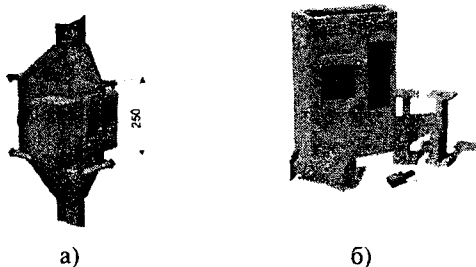


Рисунок 2 – Внешний вид приборов, а) Микрорадар 113, б) Микрорадар101.

Литература

1. Секанов Ю.П. Влагометрия сыпучих и волокнистых материалов. – М.: ВИМ, 2001.-190 с.
2. Лисовский В. В. Теория и практика СВЧ-контроля влажности с/х материалов. Мн.: БГАТУ, 2005.-292 с.

ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ГАЗИФИКАЦИИ В ГАЗОГЕНЕРАТОРАХ НА БИОМАССЕ

Марушко В.А, (БГАТУ) г. Минск

На предприятиях, занимающихся сушкой древесины, занятых проблемой решения снижения удельных энергозатрат на выпуск единицы продукции, выбор остановлен на газогенераторах, производящих генераторный газ,

произведенный через газификацию биомассы. Опилки, которые имеют энергию сжигания приблизительно 12 МДж/кг, питают газификатор, где преобразовываются в газ. Произведенный газ затем подается в жаровую трубу, где и сжигается [3].

Основная причина перехода на сжигание опилок — необходимость в сокращении затрат на тепловую энергию. Кроме того, здесь происходит переход от использования невозобновляемого топлива (нефтепродукты, природный газ) к использованию возобновляемых энергоресурсов (к примеру отходов деревообработки и растениеводства).

Отрицательный аспект в использовании опилок (щепы и т.п.) при работе газогенератора — сложность в регулировании и управлении процессом газификации и горения. Отклонения в качестве опилок (то есть состав, влажность и/или размер) влияют на процесс газификации и на температурные режимы горения. То есть, значительные колебания технологических параметров — типичная проблема, являющаяся прямой причиной изменения качества готовой продукции — высушенных пиломатериалов.

Постоянные изменения на входе объекта, то есть подачи топлива, в комплексе с неадекватным управлением, также создает колебания на процесс генерации горючего газа, который, в некоторых случаях, дает пик эмиссии серы. Ненадлежащим образом управляемый процесс газификации увеличивает риск нежелательных температурных флуктуаций в сушильной камере, которые также дают отрицательное влияние на качество продукции. Изменения в скорости подачи топлива также часто вызывают краткосрочную неустойчивость при подаче топлива, в результате чего может иметь место значительное повышение/снижение эмиссии газа [1].

Температура в течение сушки древесины — обычно измеряется посредством температурных датчиков, установленных в сушилке. Обычно температура горящего газа измеряется посредством термопары, установленной рядом с жаровой трубой. Однако очевидно, что результат измерения этой температуры, в основном, дает информацию о процессе газовой эмиссии и потерей энергии, чем о качестве технологического процесса.

Температуру в сушильной камере возможно измерять, кроме того, терморезисторами сопротивления, установленными внутри и они дают достаточно точные результаты. Показания термодатчика сушильной камеры подвержены влиянию топливной смеси, то есть формой и температурой

пламени, температуры поступающего вторичного воздуха горения и радиации нагретой древесины.

Таким образом, параметры топливной смеси должны управляться так, чтобы полное поступление тепловой энергии, которая может быть оценена на основе уровня топлива и энергетического состава горючего газа, поддерживалось настолько постоянно насколько это возможно.

Кроме того, подача топлива должна быть отрегулирована в режиме отслеживания для протекания нормального технологического производства. Это необходимо, чтобы гарантировать сглаженное воздействие на процесс в течение переходных состояний. Структура обратной связи для объекта газогенератор-сушилка также существенна, потому что это обеспечивает возможность управления временем сушки древесины. Кроме того, процесс газификации в газогенераторе также должен управляться посредством системы контроля за качеством опилок.

Эффективность обратной связи системы управления требует поддержки температуры жаровой трубы в пределах необходимого диапазона по качеству и устойчивости системы в целом.

Способы обработки серьезных флуктуаций технологических параметров объекта при изменении качества и/или фактическом размере опилок (щепы) — также является актуальной. Кроме того, работа газогенератора должна контролироваться по долгосрочному регулируемому воздействию и, следовательно, требуемая температура жаровой трубы газогенератора должна изменяться в соответствии с режимом сушки.

Таким образом, газогенератор на биомассе с динамической нагрузкой типа сушильной камеры для древесины не позволяет создать строгую математическую модель протекающих процессов. Известно, что интеллектуальные методы облегчают создание приложений, которые имеют способность к созданию знания и, после обработки этого знания, решают сложные проблемы, которые требуют некоторой степени интеллекта, если они должны быть решены человеческим экспертом. Эти методы также позволяют извлечь полезную информацию о процессе и его поведении при большом количестве данных, которое обычно собирается и архивируется в базах данных. Эта информация может тогда использоваться для развития системы управления таким образом, что возможно, никогда бы не было достигнуто на основе эвристического знания одних экспертов области [2]. Поэтому автор предлагает

использовать имеющиеся технологии искусственного интеллекта для создания адаптивной системы управления таким объектом, как газогенератор.

Литература

1. Juuso, E.K., 1999b. Intelligent dynamic simulation of a lime kiln with linguistic equations. In: Proceedings of the ESM'99: Modelling and Simulation: A Tool for the Next Millennium, 13th European Simulation Multiconference, Vol. 2, SCS, Delft, The Netherlands, 1999, pp. 395–400.

2. Funabashi, M., Maeda, A., Morooka, Y., Mori, K., Works, O., 1995. Fuzzy and neural hybrid expert systems: synergetic AI. IEEE Expert 10 (8), 32–40.

3. Jarvensivu, M., Juuso, E., Ahava, O., 2000. Intelligent supervisory level control of industrial processes. Finn Paper Timber Journal 82 (6), 386–391.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НОВОГО 8 БИТНОГО AVR МИКРОКОНТРОЛЛЕРА С 2 КБ ДЛЯ КОНТРОЛЯ СКОРОСТИ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА

Матвеевко И.П., Матвеевко В.В. (БГАТУ) г. Минск

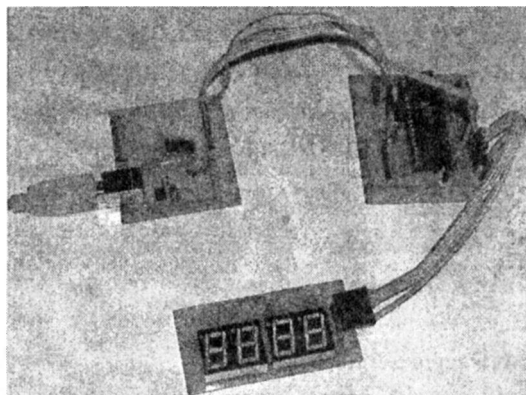
В настоящее время общепризнанна эффективность применения различных типов микроконтроллеров, которые используются на предприятиях АПК. Некоторые из этих типов используются достаточно давно, но при современном темпе развития науки и технологии, морально быстро устаревают. Поэтому возникает задача их замены на более новые модели с учетом расширенных возможностей этих микроконтроллеров.

Для контроля скорости воздушного потока использовались микропроцессоры AT90S2313. Корпорация Atmel разработала и выпустила новый 8- битный КМОП микропроцессор семейства AVR ATtiny2313, который является усовершенствованной, совместимой по выводам версией AT90S2313. Он отличается более высоким быстродействием (максимальная рабочая частота 16 МГц) и большим количеством линий ввода-вывода. Микроконтроллер потребляет всего 300 мкА при работе на частоте 1 МГц и 1,8 В. Для сохранения энергии источника питания прибор имеет три программно инициализируемых режима пониженного потребления. В дежурном режиме при активном 32 кГц задающем генераторе прибор потребляет менее 500 нА.

ATtiny2313 является высокопроизводительным устройством, выполняющим большинство команд за один тактовый цикл, что позволяет достичь производительности 1 MIPS при частоте задающего генератора 1 МГц, обгоняя в

десятки раз микроконтроллеры со стандартной CISC архитектурой. ATtiny2313 содержит 2 КБ программируемой в системе Flash память программы, 128 байтную память данных, 18 линий ввода - вывода общего применения, два гибких таймера/счетчика со схемами сравнения, внутренние и внешние источники прерывания, универсальный последовательный интерфейс с детектором стартового условия и программируемый сторожевой таймер со встроенным генератором.

Встроенный отладчик debugWIRE позволяет вести отладку программно кода прямо в установленном в систему микропроцессоре. Этот отладчик и функция внутрисистемного программирования дают большую гибкость и позволяют существенно сократить затраты на разработку, а кроме того, позволяют обновлять управляющую программу в уже готовой системе.



При работе с этим микропроцессором был выявлен следующий недостаток: т.к. эта модель имеет внутренний генератор, то при работе с внешним генератором требуется не ошибиться при указании тактовой частоты внешнего кварца и битов конфигурации, устанавливающих режимы работы процессора. В противном случае перепрограммировать его весьма затруднительно.

ПЕРСПЕКТИВЫ И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Павловский В.А., (БГАТУ) г. Минск

Практически ни одна техническая система не работает без управления в той или иной форме. С появлением в 1971 году первой микропроцессорной БИС Intel 4004 появилась реальная возможность широкого применения нового

устройства управления. Применение для управления различных устройств на базе микропроцессоров: ПЭВМ, промышленных компьютеров, программируемых контроллеров – характерная черта технической инфраструктуры современного общества. Компьютерное управление широко применяется в промышленности, энергетике, транспорте, системах связи и во многих случаях не имеет реальной альтернативы.

Цифровая вычислительная техника применяется как для управления последовательностью операций, так и для регулирования по отклонению. Во многих системах эти методы используются совместно. Конфигурация аппаратных средств зависит от многих факторов, от количества входных и выходных сигналов технологического процесса, количества и типа датчиков и исполнительных механизмов, динамики процесса и его внутренних связей и алгоритмов регулирования.

Устройство управления должно постоянно проверять правильность функционирования технологического процесса, в связи с этим особую важность имеет координация отдельных специализированных задач. Организация обмена данными представляет собой центральную задачу систем управления процессами. Под этим понимается взаимодействие между вычислительной системой и физическим процессом, межпрограммный обмен данными, как локально, так и в распределенной среде, и интерфейс пользователя. Таким образом, эффективность микропроцессорных устройств управления во многом определяется не их вычислительной мощностью, а способами обработки информации, являющимися неотъемлемой частью, заданными в виде алгоритмов и программ.

Полного понимания и применения на практике всех преимуществ цифрового управления еще не достигнуто. Одним из отличий микропроцессорных устройств управления, в частности программируемых контроллеров, является их мультиплексность, т.е. один контроллер способен заменить несколько аналоговых регуляторов управляющих параметрами, в различных контурах регулирования, или управлять несколькими технологическими процессами и объектами управления. Механическая замена нескольких аналоговых регуляторов на один контроллер экономически выгодна, но просто смена элементной базы с аналоговой на цифровую практически не повышает качества управления технологическими процессами.

Цель системы получить результат, качественно или количественно превосходящий механическую (простую) сумму результатов работы отдельных её

компонентов. Объединение в систему добавляет “нечто большее”, что и объясняет её назначение, – принцип “синергизма”. Это “нечто большее” не определяется наличием тех или иных компонентов системы, а скорее есть результат их взаимодействия.

Информация – неотъемлемая часть всякого процесса и важнейший компонент управления технологическими процессами, поскольку она позволяет лучше использовать другие слагаемые процесса – материю и энергию. Обработка информации, для улучшения характеристик технологического процесса, является актуальной задачей. Особенно учитывая задачи энерго-ресурсосбережения, связанные с производственной деятельностью в условиях истощения природных ресурсов и загрязнения окружающей среды, большой интерес представляет любое повышение эффективности производства и снижения побочных эффектов.

Микропроцессор предназначен для обработки информации. Таким образом, для улучшения характеристик технологического процесса необходимо, используя возможности микропроцессора, обрабатывать всю доступную полезную информацию. Преобразование информационной составляющей сигналов в цифру и возможности в хранении и использовании информации в цифровом виде, предоставляемые микропроцессорной техникой, создают предпосылки для возникновения новых методов её использования которые практически не могли быть реализованы при использовании в качестве информационной компоненты сигналов физических величин типа давления воздуха или силы тока. Повышение эффективности технологических процессов, при внедрении микропроцессорных устройств управления, наблюдается при введении полезных связей для передачи информации между различными системами (контурами) управления – назовем это принципом введения полезных связей. Введение полезных связей приводит к появлению синергетического эффекта – т.е. новых полезных свойств системы не характерных для её частей взятых по отдельности, что выражается в виде повышения качества управления и экономическом эффекте. В частности, такой эффект наблюдается при автоматизации на базе контроллеров системы кормления на промышленном свинокомплексе. Принцип введения полезных связей позволяет осознанно и целенаправленно создавать и совершенствовать микропроцессорные системы управления.

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.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ОБЪЕКТОВ АВТОМАТИЗАЦИИ ПО ПЕРЕХОДНЫМ ПРОЦЕССАМ, ИСКАЖЕННЫМ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ ПОМЕХОЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ МОДЕЛИРОВАНИЯ НА ЦИФРОВЫХ ЭВМ

Ю.А. Сидоренко, (БГАТУ) г. Минск

Традиционным графо-аналитическим методом идентификации присущи серьезные недостатки. Как правило, с приемлемой точностью можно провести идентификацию линейных объектов по переходным процессам при стандартных воздействиях – ступенчатых или импульсных.

Применение моделирования на ЭВМ в сочетании с планированием эксперимента существенно расширяет возможности провести идентификацию сложных (в том числе нелинейных) объектов при произвольных воздействиях. Общая методика такой идентификации изложена в работе [1].

На практике, особенно при идентификации сельскохозяйственных объектов, экспериментальные переходные процессы искажены высокочастотной помехой. Рассмотрим особенности идентификации в этом случае.

Традиционная методика при этом включает этап предварительного сглаживания переходного процесса. Методы сглаживания известны и изложены, например, в работах [2, 3].

Недостатками традиционного подхода являются следующие.

Сглаживанию подлежат, в основном, переходные процессы, полученные при типовых воздействиях (ступенчатых функциях) и носящие не колебательный характер.

Сглаживание приводит к потере точности идентификации.

На практике (наиболее частый случай) вообще невозможно получить переходные процессы при типовых воздействиях.

Применение моделирования на ЭВМ позволяет обойти вышеперечисленные трудности. Может быть предложен следующий порядок идентификации.

1. Если есть возможность, то записываются несколько переходных процессов при одинаковых воздействиях, затем несколько переходных процессов при другом характере воздействия.

2. Выбирается переходный процесс при наибольшем воздействии. Проводится визуальное сглаживание переходного процесса, что необходимо только для оценки шага дискретизации (рисунок 1).

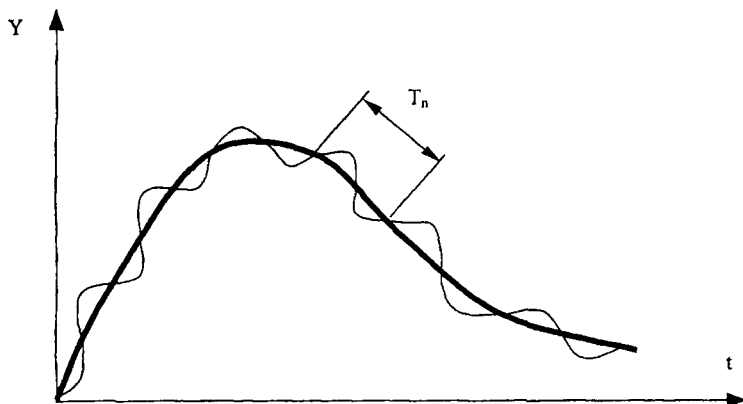


Рисунок 1 – Переходный процесс, искаженный высокочастотной помехой и кривая визуального сглаживания

Шаг дискретизации (квантования) выбирается по теореме Котельникова:

$$\omega = \frac{2\pi}{T_n}; \quad T = \frac{\pi}{\omega},$$

где ω - частота помехи; T – шаг квантования.

Как правило, на практике всегда возможно оценить значение T_n (см. рис. 1) и, уменьшив его в 2...3 раза, выбрать шаг дискретизации экспериментального переходного процесса.

Если снято несколько переходных процессов при одинаковых воздействиях, то для идентификации переходный процесс рекомендуется усреднить в точках дискретизации.

Далее идентификация может быть проведена по методике, изложенной в работе [1]. Особенностью является следующее.

Шаг цифрового моделирования, который определяет точность моделирования на ЦВМ, должен быть выбран равным или меньшим, но кратным шагу дискретизации переходного процесса.

Критерий оптимальности модели – сумма квадратов отклонений экспериментального переходного процесса Y от расчетного Y_p

$$I = \sum (Y - Y_p)^2$$

рассчитывается по точкам дискретизации переходного процесса.

Поиск оптимальных параметров модели проводится одним из поисковых экспериментальных методов. Можно рекомендовать последовательный симплексный метод (ПСМ) [4].

Литература

1. Сидоренко Ю.А., Павловский В.А., Якубовская Е.С., Идентификация объектов при детерминированных воздействиях с применением моделирования на цифровых ЭВМ/ Ю.А. Сидоренко и др.// Агропанорама. – 2006 - №4. – с. 4-7
2. В.С. Балакирев, Е.Г. Дудников, А.М. Цирлин. Экспериментальное определение динамических характеристик промышленных объектов управления. – М.: «Энергия», 1967.
3. И.И. Мартыненко, В.Ф. Лысенко. Проектирование систем автоматики. – М.: Агропромиздат, 1990.
4. Г.И. Красовский, Г.Ф. Филаретов. Планирование эксперимента. – Мн.: Изд-во БГУ, 1982.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СУШКИ ЗЕРНОВЫХ В СУШИЛКАХ, РАБОТАЮЩИХ НА ТВЕРДОМ ТОПЛИВЕ

А.В. Сидоров (БГАТУ), В.Г. Сидоров (БНТУ), В.Н. Романюк,
Б.В. Круталевич (ОАО «Амкодор»), г. Минск

Целью технологического процесса сушки зерна является получение семян с заданными оптимальными свойствами. Для достижения этой цели необходимо учитывать не только свойства сушимого материала и конструкцию сушилки, но также режим ее работы. Для сохранения или улучшения семенных и продовольственных качеств зерна требуется устанавливать оптимальные значения температуры, влажности и скорости движения сушильного воздуха внутри шахты в зависимости от состояния самого сушимого материала и

параметров входного воздуха (1). Таким образом, автоматизированная система управления технологическим процессом сушки зерна должна быть способна регулировать перечисленные параметры в широком диапазоне значений, обеспечивая необходимые технико-экономические показатели работы зерносушильных установок: минимальный расход энергии и заданную производительность.

При работе зерносушилок на жидком или газообразном топливе стабилизация требуемой температуры и скорости сушильного агента без затруднений достигается регулированием количества сжигаемого в единицу времени топлива. Однако в связи с непрерывно растущими ценами на эти виды ресурсов предпринимаются попытки использовать в аналогичных установках возобновляемые твердые местные виды топлива (дрова, солома и т.д.), имеющие существенно меньшую стоимость. Практические результаты выявили проблематичность такого подхода. Во-первых, весьма трудно обеспечить равномерную подачу в печь такого вида топлива как дрова в течение всего времени работы установки. Преодолением подобной трудности является использование в качестве топлива измельченных отходов деревообрабатывающей промышленности (опилок, стружек и т.п.). Однако для заготовки и хранения этого топлива дополнительно потребуются значительные площади, укрытые от осадков, а также большие по сравнению с обычными дровами расходы на транспортировку. Во-вторых, этот вид топлива имеет сильно меняющуюся калорийность, зависящую от влажности и от сорта древесины. В-третьих, размеры поленьев (сечение) сильно влияют на интенсивность (мгновенную мощность) горения, а процесс их измельчения из-за трудоемкости экономически не целесообразен.

Решением указанной проблемы может быть создание системы комплексной автоматизации, на основе трех взаимосвязанных контуров управления зерносушилкой:

- 1) контур стабилизации разряжения в топке теплогенератора, регулирующий тягу скоростью вращения дымососа;
- 2) контур стабилизации температуры сушильного воздуха, за счет изменения скорости обдува теплообменного корпуса печи;
- 3) и, наконец, контур стабилизации влажности выходного зерна, за счет корректировки времени экспозиции сушеного материала или регулирования скорости его движения внутри сушильной шахты.

Первый контур обеспечивает максимальную полноту сгорания твердого топлива при максимальном КПД теплогенератора, в значительной мере компенсируя неблагоприятное влияние на процесс горения неравномерности по времени загрузки топки дровами, а также их меняющейся от влажности calorийности. Подобный подход является стандартным для эксплуатации котельных установок малой мощности (2) и обеспечивает их высокие экономические показатели. Задание на входе этой системы устанавливается постоянным в пределах 20-30Па (2-3 мм вод. ст.). Датчиком обратной связи является датчик разряжения. Второй и третий контура настраиваются соответственно на температуру сушильного воздуха и влажность зерна в зависимости от заданной скорости сушки зернового материала и выходной влажности семян. Датчиками обратных связей в этих контурах являются соответственно датчик температуры, смонтированный на входе сушильного агента в шахту и датчик влажности, установленный на выходе шахты. Все перечисленные контура управления связаны друг с другом взаимными ограничениями, обусловленными технологией сушки зерна, максимальной температурой сгорания топлива, а также тепловой прочностью материалов конструкции сушильного устройства.

Так как во всех контурах управления регулируемая технологическая координата монотонно зависит от скорости вращения соответствующей рабочей машины (дымосос, вентилятор и транспортер-конвейер), то, очевидно, их исполнительным механизмом является регулируемый электропривод. Принимая во внимание экономическую сторону решаемой проблемы, а также требование высокой управляемости и быстродействия, следует использовать асинхронный частотно-регулируемый электропривод на базе стандартных преобразователей частоты (3). Такой выбор позволит обеспечить удобное и экономичное «электрическое» регулирование заданных технологических координат зерносушилки в требуемом диапазоне и с достаточным быстродействием за счет незначительных затрат, учитывая стоимость подобных устройств на текущий момент времени. В качестве управляющего устройства предлагается использовать промышленный контроллер в соответствующем для данного применения исполнении.

Литература

1. В.А. Сакун. Сушка и активное вентилирование зерна и зеленых кормов. Москва, Изд. «Колос», 1974. - 214 стр.

2. Д.Я. Борщов. Устройство и эксплуатация отопительных котельных малой мощности. Москва, Стройиздат, 1989.- 198 стр.
3. Firmware Manual. ACS800 Standard Application Program 7.x. ABB Oy, 2006, DARK, Finland. – 264 p.

ПРОБЛЕМЫ И ВОЗМОЖНОСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ РАЗРАБОТКИ ДОКУМЕНТАЦИИ ПРОЕКТА АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Якубовская Е.С, (БГАТУ) г. Минск

Сегодня немыслима работа инженера-проектировщика за кульманом. Эффективным средством проектирования выступает компьютер, который при использовании систем автоматизированного проектирования (САПР) обеспечивает высокое качество проекта, минимальные затраты на выпуск проекта, соответствие документов проекта нормативным требованиям. Однако электротехнические САПР, которыми насыщен в последнее время рынок САПР, далеко не всегда обеспечивают выпуск проекта автоматизации технологических процессов из-за специфики данного класса документации и требуют существенной адаптации.

Основной комплект рабочих чертежей систем автоматизации в общем случае содержит:

- общие данные по рабочим чертежам;
- схемы автоматизации;
- схемы принципиальные (электрические, пневматические);
- схемы (таблицы) соединений и подключений внешних проводок;
- чертежи расположения оборудования и внешних проводок;
- чертежи установок средств автоматизации.

Рассмотрим особенности разработки данных документов в современных электротехнических САПР.

Схема автоматизации - основной технический документ, определяющий функционально-блочную структуру отдельных узлов автоматического контроля, управления и регулирования технологическим процессом и оснащение объекта управления приборами и средствами автоматизации. Данный документ содержит технологическую схему и раскрывает объем автоматизации технологического процесса или установки. Большое многообразие

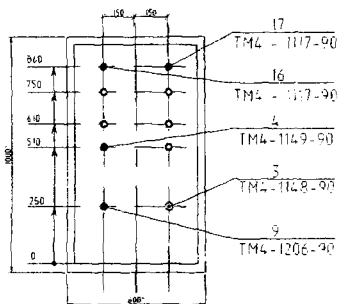
технологических процессов мешает формализовать разработку подобного документа. А определение объема автоматизации тем более является процессом творческим. Поэтому выпуск данного документа в САПР характеризуется наименьшей степенью автоматизации. Тем не менее, повторяющиеся элементы схем могут быть собраны в библиотеку графических элементов, что несколько экономит время на разработку документа. С этой целью могут успешно применяться как коммерческие пакеты САПР, такие как «Компас» (фирма «Аскон») с соответствующей базой данных, так и общеприменимый пакет AutoCAD с разработанной пользователем графической библиотекой и настроенным шаблоном.

Схема принципиальная – это схема, определяющая полный состав элементов и связей между ними и, как правило, дающая детальное представление о принципах работы изделия. Процесс разработки данного документа можно в некоторой степени формализовать. Это в первую очередь относится к выпуску перечня элементов принципиальной схемы. Многие операции при формировании данного документа также могут быть автоматизированы. Однако так как этот документ в проектировании является базовым, придется вводить значительный объем исходной информации для его разработки. САПР может только максимально облегчить эту процедуру. В качестве примеров пакетов САПР, реализующих разработку данной документации, можно отметить как отечественные разработки CADElectro (ООО «Техникон» и ООО «Интермех»), так и российские Electrics (ООО «Лир»), и зарубежные CADdy (Германия ZIEGLER, www.caddy.ru), WS-CAD (Германия TE-KON), PC Schematic (Дания Dps CAD-Center Aps, www.pcschematic.com).

Монтажные документы необходимы для проведения монтажа разработанной системы и базируются на сведениях, имеющихся в принципиальной электрической схеме. Процесс разработки данных документов может быть формализован и поэтому их разработка подлежит высокой степени автоматизации. Примерами пакетов САПР, реализующих разработку данной документации, могут служить перечисленные для предыдущего документа.

Процесс выпуска документации на щиты автоматизации, в общем, подлежит формализации, однако рассмотренные выше пакеты не поддерживают автоматизацию таких операций, как компоновка щита, и в большинстве поддерживают выполнение требований только к щитам управления. Так в пакете CADElectro требуют корректировки формы перечня составных частей щита,

таблицы надписи на табло и в рамках, прилагаемых к общему виду щита автоматики, обеспечивая при этом некоторую автоматизацию выпуска данных прилагаемых документов, однако автоматизации компоновки не предусматривает. С целью устранения данных недостатков предложена программа компоновки Schit, позволяющая по заданному аппаратурному составу щита автоматики выполнять компоновку и формировать чертеж общего вида щита, полностью отвечающего нормативным требованиям (рисунок 1).



1. Размеры для справок.
2. Покрытие - Вариант 2 ГОСТ 36.13-90

Рисунок 1 – Вид спереди, сформированный программно

Таким образом, использование современных лицензионных пакетов САПР при разработке документации проекта автоматизации технологических процессов обеспечивает действительное сокращение затрат и сроков выполнения при условии их адаптации к данной области проектирования.

Содержание

Казаровец Н.В. Вступительное слово на пленарном заседании	3
Русан В.И. Проблемы и основные направления энергообеспечения АПК в современных условиях	5
Гаркуша К.Э., Коротинский В.А. Подготовка специалистов по вопросам энергосбережения в АПК как фактор повышения энергетической безопасности	9
Герасимович Л.С. Автоматизированное управление биопродукционными системами	12
Маньшин Г.Г., Агаев Н.Н. Новые технологии в производстве, распределении и потреблении тепловой и электрической энергий	15
Зяц Е.М., Николаенок М.М., Пашийский В.А. Основные направления технологического использования электрической энергии	19
Большасов В.С., Жидович И.С., Матюнин В.И., Трутаев В.И. Стратегия обеспечения устойчивого развития энергетики крупных городов	21
Салова Т.Ю., Гушинский А.Г. Комплексные исследования режимов работы энергоустановок с целью повышения показателей эффективности и снижения вредного воздействия на окружающую среду	28
Шестерень В.Е. Выбор системы теплоснабжения на селе	31
Яценко А.П. Использование вторичных, нетрадиционных и возобновляемых источников энергии для тепло – и холодоснабжения мини-цехов по переработке сельхозпродукции	33
Анищенко В.А., Козловская В.Б., Радкевич В.Н. Контроль достоверности учета электроэнергии	36
Богдан А.В., Перекопский К.В. Оптимизация параметров антирезонансного токоограничивающего дросселя конденсаторной установки 0,38 кВ	38
Богдан А.В., Соболев А.Н. Анализ повреждений в обмотках асинхронного генератора с емкостным самовозбуждением	40
Большасов В.С., Жидович И.С., Матюнин В.И. Энергетическая безопасность урбанизированных районов	43
Гаркуша К.Э., Зайцева Н.К., Андрейчик А.Е., Бернацкий В.В., Алецкий С.А. Разработка котла на местных видах топлива для агрогородков	45
Гаркуша К.Э., Коротинский В.А., Гуляй О.В. Повышение эффективности использования энергоресурсов при производстве продукции на ОАО «Слонимский мясокомбинат»	48
Герасимович Л.С., Синяков А.Л., Цубанов И.А. Оптимизация конструкции кожухотрубчатых теплоутилизаторов в отопительно-вентиляционных системах	51
Герасимович Л.С., Цубанов И.А. К расчету коэффициента теплопередачи в кожухотрубчатых теплоутилизаторах	52
Збродыг В. М. Несимметрия и несинусоидальность напряжений в сетях 0,38 кВ сельскохозяйственного назначения	54
Зеленькевич А.И. Функциональные возможности автоматизированной трансформаторной подстанции	57
Колесник Ю.Н., Веньгин К.А. Моделирование и оценка энергоэффективности предприятий с собственными источниками энергии в рыночных условиях функционирования	59
Кузьмич В.В., Кашкан Л.М., Терешкова С.Г. Иницирование процессов горения в водно-воздушной топливной горелке	62
Кузьмич В.В., Кохановский В.В., Терешкова С.Г. Перспективы переработки вторичного свинцового сырья с целью получения металлического свинца, пригодного для производства аккумуляторных батарей	64

Кузьмич В.В., Тетёркин Д.А. Экономия жидких тяжелых топлив, использующихся в производственных процессах, и улучшение качества их сжигания	66
Прищепов М.А., Рутковский И.Г. Повышение качества обработки термолабильных сред в электродных электронагревательных установках	69
Протосовицкий И.В., Янукович Г.И. Методика определения дополнительных потерь электроэнергии от несимметрии напряжения в низковольтных сетях	71
Сергей И.И., Андрукевич А.П., Пономаренко Е.Г. Расчет максимальных тяжёлых гибких шин распределительных устройств при коротких замыканиях	73
Сергей И.И., Климович П.И. Оценка эффективности гасителей пляски проводов вычислительным экспериментом	76
Сердешнов А.П., Усов Г.Г. Повышение надежности работы силовых масляных трансформаторов эксплуатируемых в сельских электрических сетях	78
Сердешнов А.П., Янукович Г.И. Низковольтные электрические сети с комбинированным электроснабжением	83
Синяков А.Л., Цубанов И.А. Повышение эффективности работы теплоутилизаторов оvs животноводческих помещений	85
Счастливый В.П., Зеленкевич А.И., Михайлова Е.В., Кирко Ю.В. Учет климатических условий при определении потерь электроэнергии в воздушных линиях электропередачи напряжением 0,38 кВ	87
Терешкова С.Г., Кузьмич В.В. Об энергоэффективности в области топливных технологий	91
Усов Г.Г. Система эксплуатационного контроля и диагностики силовых масляных трансформаторов распределительной сети напряжением 10/0,4 кВ	93
Харитонов В.А., Вербицкая С.В., Александров Б.Л. Экспериментальное исследование влияния электромагнитного поля на характеристики жидких углеводородных топлив	97
Янукович Г. И., Королевич Н. Г. К вопросу определения платы за электроэнергию с учетом ее качества	98
Архипова Т. В., Селюк Ю. Н. О некоторых результатах исследования работы комбинированной ветрогелиоустановки	101
Болодон В.Н., Гременок В.Ф. Солнечная энергетика и ее развитие	103
Бохан Н.И., Артемьев В.П., Лавринович Н.Е., Фалюшин П.Л., Кожурин В.Н., Марушко В.А., Костюченко А.В., Мелешенко Б.А. Энергисточники на местных видах топлива и горючих отходах сельскохозяйственного производства	106
Gremenok V.F., Bente K. Photovoltaic in the context of renewable energy sources	108
Дупанов А.В., Баран А.Н. Определение электрофизических свойств птичьего помёта	111
Жогаев А.П., Емелин А.А. Компьютерное исследование пуска асинхронного двигателя в системах автономного электроснабжения на основе ветроустановок	113
Кириленко А.И., Соболев В.Р. Световоды в освещении предприятий и производств агропромышленного комплекса	115
Ключник Т.В., Гременок В.Ф. Фоточувствительные материалы, для производства фотоэлектродов	118
Ключник Т.В., Гременок В.Ф. Требования к материалам, необходимым для производства солнечного водорода	121
Кожурин В.Н., Фалюшин П.Л., Ловкис В.Б., Бохан Н.И., Галинская Н.Е., Гаель И.А. Отходы растениеводства – потенциальное сырье для получения газообразных энергоносителей	123
Л. Линдов, Т. Андерссон, О. Бабушкин, С. Карасик Новые возможности биогазовых технологий	126

Ловкис В.Б., Бохан Н.И., В.В. Носко В.В., Абрамчик Л.А., О.Г.Мартынов Применение инфракрасных газовых теплоизлучателей для обогрева сельскохозяйственных объектов	128
Новиков В.П., Стецик А.Н., Филиппович С.Р. Создание упорядоченных массивов нанопроволок для использования в качестве электродов химических источников тока	131
Новиков В.П., Стецик А.Н., Филиппович С.Р. Синтез металл углеродной композиции для аккумуляторов водорода	133
Русан В.И., Гудкова Л.К., Германович А.П., Пуляев В.Ф. Возможность использования низкотемпературного аккумулятора фазового перехода для обогрева жилых и хозяйственных помещений	136
Русан В.И., Германович А.П., Шаманович Е.Н., Шкубель Н.А. Перспективы использования возобновляемых источников энергии для энергообеспечения усадебного дома	138
Соболь В.Р., Кириленко А.И. К проблеме использования излучения солнца как дополнительного возобновляемого источника энергии	141
Соболь В.Р., Магер Е.Л., Малишевский В.Ф. Экспериментальное моделирование микроволновых свойств оксидных иттриевых сверхпроводников методом коаксиального резонатора	144
Сычик В.А., Ермакова О.А. Электрические свойства электретных структур, сформированных комбинированным методом	147
Фалюшин П.Л., Ловкис В.Б., Бохан Н.И., Гасель И.А. Возобновляемые источники энергии в АПК – возможности и перспективы их использования	150
Филипп А.Р., Кулешов А.К. Исследование эмиссионных свойств углеродных пленок	153
Филипп А.Р., Кулешов А.К. Методика экспериментальной оценки возможности использования углеродных материалов в эмиссионных холодильных устройствах ..	156
Андруш В.Г., Носко В.В. Экономия топливно-энергетических ресурсов в процессе обкатки двигателей	159
Баран А.Н. Особенности моделирования биотехнологических процессов при воздействии на них электрическим током	161
Бохан В.В., Бохан Н.И., Мелешенко Б.А. Основные тенденции развития энергосберегающих технологий в птицеводстве	163
Гурин В.В. К вопросу о числе пазов зубчатого массивного ротора асинхронного электродвигателя	164
Гурин В.В., Бабаева Е.В., Батраков Д.В. Анализ изменения параметров асинхронных электродвигателей при перегрузке	168
Дайнеко В.А. Сибиркин Д.В., Батраков Д.В., Шаукат И.Н. Приборы для непрерывного контроля влажности и температуры зерна в процессе сушки	172
Дайнеко В.А., Сибиркин Д.В., Батраков Д.В., Шаукат И.Н. Регулируемый электропривод выгрузного устройства зерносушилки	174
Дубодел И.Б., Кривовязенко Д.И. Электрохимическая коагуляция белков побочных продуктов переработки	177
Заяц А.Е. Электролитическая активация продуктивности кормовых дрожжей	178
Заяц Е.М., Николаенок М.М. Теоретические аспекты электрохимического изменения свойств органических дисперсных гидросистем	182
Заяц Е.М., Николаенок М.М., Кривовязенко Д.И. Кинетические закономерности коагуляции белков молочной сыворотки при ее электролитической обработке	185
Кардашов П.В., Заяц Е.М. Электрохимическое изменение свойств фуражного зерна	188
Кардашов П.В., Заяц Е.М. Основы конструктивного исполнения и расчета установок электрохимической обработки фуражного зерна	190

Крутов А.В., Бойко М.А. Использование электромагнитного гидроциклона в процессах очистки нефтесодержащих сточных вод	192
Кузьмич В.В., Зимницкий Д.В., Чернобай Л.А., Гвоздев В.Л. Анализ возможности применения ультразвукового воздействия в процессах очистки и мойки доильного оборудования	195
Кузьмич В.В., Маркевич Ю.Г., Колосов И.И., Лобанок Е.С., Пинчук С.В. Оборудование для профилактического оптического облучения сельскохозяйственных животных	197
Кустова Р.И. Использование когерентного оптического излучения в плодоводстве	201
Кривовязенко Д.И., Заяц Е.М. Электрохимическая коагуляция белков молочной сыворотки	203
Николаенок М.М., Пашинский В.А. Основы инженерного расчета установок электротехнологической обработки увлажненных органических дисперсных материалов	204
Пашинский В.А. Основы механизма электрогидротермической обработки фуражного зерна	206
Прищелова Е.М., Цховребов А.В. Регулируемый электропривод зернодробилок и измельчительных машин	209
Русан В.И., Сердешнов А.П., Солдатенко А.А., Шевчик А.Н., Викторovich В.В. Устройство диагностирования технического состояния электродвигателей	212
Сибиркин Д.В., Шаукат И.Н. Эффективность диагностики электрооборудования при помощи дистанционного беспроводного контроля параметров	215
Яценко А.П., Святецкий М.В. Влияние схем загрузки скороморозильных аппаратов на эффективности замораживания пищевых продуктов	217
Гагаков Ю.В. Моделирование работы скважинных водозаборов	220
Герасимович Л.С., Веремейчик Л.А. Растительная информатика в тепличном овощеводстве	222
Жур А.А. Информационно-управляющие системы на свиноводческих комплексах	224
Крутов А.В., Галах Д.В. Автоматизированное управление электромагнитной подготовкой котельной воды	226
Кучинский А.Ю. Обмен данными между персональным компьютером и промышленным микроконтроллером при управлении технологическими процессами в животноводстве	228
Лисовский В.В. Диэлектрические свойства воды в зерне на сверхвысоких частотах	231
Лисовский В.В., Булко М.И. Резонаторные устройства контроля влажности высокого класса точности в энергосберегающих технологиях АПК	241
Лисовский В.В., Булко М.И., Матвеев В.В. Контроль влажности сыпучих сельскохозяйственных материалов методами СВЧ-влагометрии	247
Марушко В.А. Проблемы управления процессом газификации в газогенераторах на биомассе	252
Матвеев И.П., Матвеев В.В. Использование нового 8 битного AVR микроконтроллера с 2 КБ для контроля скорости воздушного потока	255
Павловский В.А. Перспективы и направления развития систем управления	256

Сидоренко Ю.А. Идентификация объектов автоматизации по переходным процессам, искаженным высокочастотной помехой с применением моделирования на цифровых ЭВМ	259
Сидоров А.В., Сидоров В.Г., Романюк В.Н., Круталевич Б.В. Автоматизация технологического процесса сушки зерновых в сушилках, работающих на твердом топливе	261
Якубовская Е.С. Проблемы и возможности автоматизации разработки документации проекта автоматизации технологических процессов	264