

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ – ВАЖНЕЙШЕЕ
УСЛОВИЕ ИННОВАЦИОННОГО
РАЗВИТИЯ АПК**

Материалы
Международной научно-технической конференции

(Минск, 19–20 декабря 2019 года)

Минск
БГАТУ
2019

Энергосбережение – важнейшее условие инновационного развития АПК : материалы Международной научно-технической конференции (Минск, 19–20 декабря 2019 г.) ; под ред. И. В. Протосовицкого. – Минск : БГАТУ, 2019. – 324 с. – ISBN 985-985-25-0016-6.

Обобщены материалы конференции, посвященной рассмотрению перспектив и направлений развития энергетики, энергообеспечению, нетрадиционным и возобновляемым источникам энергии, применению электротехнологии и электрооборудования, автоматизации технологических процессов в АПК и др.

В докладах отражены теоретические и практические достижения ученых Беларуси, Украины, России, Польши, Великобритании, Казахстана, Азербайджана, дается анализ состояния энергетики АПК и представлены перспективы ее развития.

Для научных сотрудников, занимающихся энергетикой АПК, других специалистов, а также студентов.

Под редакцией кандидата технических наук, доцента И. В. Протосовицкого

Редакционная коллегия:

Протосовицкий И. В., канд. тех. н., доц. (научный редактор);
Герасимович Л. С., акад. НАН Беларуси, д-р тех. н., проф.;
Прищепов М. А., д-р тех. н., доц.;
Забелло Е. П., д-р тех. н., проф.;
Заяц Е. М., д-р тех. н., проф.;
Королевич М. В., д-р физ.-мат. н., доц.

Материалы опубликованы на языке оригинала с сохранением орфографии и пунктуации авторов. Ответственность за достоверность публикуемых материалов несут их авторы.

ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

**Полещук Л.Л., заместитель директора Департамента
по энергоэффективности Госстандарта**

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ: НОВЫЕ ВЫЗОВЫ И ВОЗМОЖНОСТИ

Сельские территории занимают большую часть страны, развитие энергетики АПК в новых экономических условиях, в целях обеспечения устойчивого энергоснабжения с рациональным расширением нетрадиционных и возобновляемых источников энергии нам необходимо соблюдать баланс, с одной стороны, экономической выгоды, с другой стороны, сохранением природной красоты родной Беларуси, ее биологического разнообразия, экологической чистоты.

В вопросах повышения энергоэффективности страна на систематической основе стремится достичь уровня развитых стран и обеспечить конкурентоспособность отечественной продукции на мировых рынках как можно раньше.

Беларусь последовательно шаг за шагом приближается к европейским стандартам по энергоёмкости ВВП.

Строятся новые энергоэффективные предприятия. При реконструкции применяются новые энергоэффективные технологии. Благодаря государственной поддержке по развитию инвестиционной привлекательности страны возобновляемая энергетика в 2018 году составила 6,2 процента в валовом потреблении топливно-энергетических ресурсов в стране, а за 6 месяцев 2019 года – 6,9 процента.

В стране эксплуатируется свыше 400 МВт источников такой энергии, а в 2020 году мощность источников возобновляемой энергии составит свыше 636 МВт. Рост более в 1,5 раза. Потенциал же возобновляемой энергетики в АПК еще велик.

В 2025 году при реализации мероприятий по укреплению экономической безопасности государства планируется добиться снижения энергоёмкости не менее чем на 2%, и выйти на уровень 367 кг у. т/млн. рублей ВВП.

Отрадно отметить что, последнее время рост ВВП страны обеспечивается не только со значительной экономией ТЭР, но и с уменьшением его потребления.

По топливу среднегодовые темпы снижения потребления за последние 8 лет составили 96%, по теплоэнергии – 93,5%. По электроэнергии проявился рост потребления на 0,9%, что связано с предстоящим вводом Белорусской АЭС с ее дешёвой энергией.

Основным фактором хозяйствования стала экономия ТЭР за счет реализации мероприятий по энергосбережению. За 2016 – 2018 годы организациями республики уже сэкономлено 3,1 млн. т. у. т., что составляет 62 процента от установленного Правительством задания на пятилетний период.

Наибольший вклад в указанные результаты работы по энергосбережению в стране достигнут за счет реализации энергоэффективных проектов в электроэнергетической и промышленной отраслях, в частности организациями ГПО «Белэнерго», концерна «Белнефтехим» и Минпрома.

За 2016 – 2018 годы задания по экономии ТЭР, установленные организациями ГПО «Белэнерго», концерна «Белнефтехим» и Минпрома на пятилетний период, выполнено на 71 процент и фактический суммарный объем экономии ТЭР составил 1,3 млн. т. у. т. (ГПО «Белэнерго» – 713 тыс. т. у. т. (84 процента), концерн «Белнефтехим» – 404 тыс. т. у. т. (65 процентов), Минпром – 232 тыс. т. у. т. (53 процента).

Особо следует отметить, что в Агропромышленном комплексе, ставшей высокотехнологичной отраслью экономики страны, в которой ключевое значение придается именно рациональности и эффективности использования топливно-энергетических ресурсов.

Так, на сегодняшний день в АПК эксплуатируется 17 биогазовых комплексов общей мощностью 16 МВт, которые одновременно стали важным элементом охраны окружающей среды. Внедрено оборудование, использующее местные виды топлива и отходы сельскохозяйственного производства общей мощностью свыше 1,2 ГВт, что совсем недавно казалось недостижимым. Также реализован ряд других эффективных проектов, закрепивших успешное развитие отрасли. Но особенно отличились крупные предприятия молочного сектора, таких как ОАО «Савушкин продукт», «Молочный мир», «Гродненский мясокомбинат», «Милкавита», «Калинковичский молочный комбинат» и многие другие.

Реализованные в отрасли проекты снизили потребление тепловой энергии на 55 %, газа – на 14 %, электрической энергии – на 3,7%.

Теперь особенно следует отметить, что фактический объем потребления тепловой энергии в Республике намного выше той величины, о которой мы говорим и которая отражается в квартальных и годовых отчетах организаций и отраслей, в том числе в государственной статистической отчетности.

Следует отметить, что фактически используемая тепловая энергия для многих технологических процессов различного рода печах, сушилках, теплогенераторах и других огнетехнических установках у нас или не учитывается, или учитывается как «топливо непосредственно в качестве топлива».

Так называется статья расхода топлива в статотчетности Национального статистического комитета Беларуси. В промышленно развитых странах его называют и учитывают, как топливо прямого сжигания, а в некоторых

из этих стран в настоящее время приняты законы, запрещающие такое использование без когенерации. Это обусловлено тем, что коэффициент полезного использования термодинамического тепла топлива прямого сжигания очень низок. Например, у нас КПД большинства термических печей всего 6–8%, в отдельных случаях 10–14% и в единичных экземплярах 32–36%. Все это говорит о том, что в этой сфере очень много резервов, и на нее Департамент обратит внимание уже в ближайшее время. Ведь речь идет ни мало ни много, а 4–5 млн. т. у. т в год. (по термодинамическому эквиваленту 28–35 млн Гкал в год при 65 млн Гкал официальной статотчетности).

При этом нам вместе с Национальным статистическим комитетом предстоит усовершенствовать целый ряд форм и видов статотчетности предприятий с тем, чтобы вместо как бы завуалированных показателей в целом ряде таблиц энергетических балансов были внесены показатели, напрямую отражающие количество использованного топлива прямого применения (сжигания) и термический КПД печей и других огнетехнических установок.

Это просто необходимо с тем, чтобы повысить адресность и эффективность работы по энергосбережению.

В дальнейшем внедрение в производство современных энергоэффективных электротехнологий и модернизация действующих производств позволяет получить порядка 25 процентов экономии энергоресурсов от общей экономии ТЭР в целом по республике. Также среди других актуальных направлений работы по экономии ТЭР можно отметить следующие:

систематическое повышение квалификации энергетических кадров, в том числе за счет «цифровизации» переподготовки;

стандартизация продукции на соответствие критериям энергопотребления;

- внедрение распределённых систем энергоснабжения на базе локальных энергоустановок, использующих современные технологии в том числе, для участия в суточном графике энергосистемы Республики Беларусь, и эффективной технической и коммерческой интеграции с Белорусской АЭС.

- повышение приверженности принципам «Зеленой экономики»;

- переход к полной переработке отходов животноводства и обрабатывающих предприятий, с получением чистых видов энергии;

- снижение зависимости от углеводородных видов топлива, и выход на технический потенциал использования местных природных энергетических ресурсов и возобновляемых источников энергии;

и другие меры по повышению энергоэффективности;

Совокупность указанных мер, равно как и действующая Директива Президента №3, комплекс мероприятий по ее реализации, иные директивные документы в данной сфере позволят комплексно успешно решать задачи энергетической независимости и безопасности страны.

Нет в мире ни одной отрасли более близкой и более нужной нашему народу, каждому жителю страны, укреплению их здоровья и благополучию.

чия. Сегодня ваша продукция заявила себя в США и Венесуэле, в Китае и Японии. Надо наращивать наше присутствие и качеством, и ценой. И здесь роль энергоэффективности и энергосбережения по-прежнему незаменима.

А в целом предлагаемые меры в итоге позволят значительно повысить конкурентоспособность белорусской экономики.

**Герасимович Л.С., академик НАН Беларуси, д.т.н., профессор,
Ожелевский А.В., ст. преподаватель, Андрейчик А.Е., ст. преподаватель
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь**

АКТУАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ ДЕМОНСТРАЦИОННЫХ ЗОН ВЫСОКОЙ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ В ЖИЛИЩНО- КОММУНАЛЬНОЙ СФЕРЕ АГРОГОРОДКОВ

В настоящее время стоит проблема повышения комфортности жизнеобеспечения сельского населения, и в частности, агрогородков в соответствии с Программой возрождения села Республики. Сегодня их насчитывается более 1400 в АПК.

Энергетика Республики Беларусь в условиях дефицита собственных топливно-энергетических ресурсов предполагает использование местных возобновляемых ресурсов. Для энергообеспечения жилищно-коммунальной сферы перспективны местные ресурсы, в первую очередь: биоэнергетика, гелиоэнергетика, ветроэнергетика и теплонасосная энергетика.

Энергетическая эффективность и безопасность предполагают разработку комплексных энергосистем в соответствии с законом «Об энергосбережении», принятый в 2015 году. Особое место в законе занимает целесообразность разработки демонстрационных зон высокой энергоэффективности (раздел 22 закона), что в полной мере касается АПК.

Демонстрационная зона высокой энергетической эффективности (ДЗВЭ) представляют собой проект (совокупность проектов) системы комплексного энергообеспечения агрогородков, осуществляемый в масштабах района, промышленного и сельскохозяйственного предприятия, самого агрогородка и примыкающих сельских поселений. На этих объектах создаются благоприятные условия для получения и демонстрации совокупного эффекта за счет комплексного проектирования и диверсификации различных топливно-энергетических ресурсов, решения организационных, технических, экономических, нормативно-правовых проблем по приоритетным направлениям энергосбережения, концентрации ресурсов производственного и научно-технического потенциала.

Разработка систем ДЗВЭ для жилищно-коммунальной сферы агрогородков является актуальным и перспективным для АПК. На основе опыта и создания демонстрационных зон это позволит кардинально снизить финансовые затраты, повысит качество и уменьшит сроки технического проектирования и сооружения комплексных энергосистем с использованием местных ресурсов аграрного производства и ВИЭ.

Новизна исследований состоит в научно-методической разработке аналитического инструментария имитационного моделирования региональной кластерной системы ДЗВЭ и результатов вычислительных экспериментов.

Практическая значимость исследований обеспечит: 1) снижение капитальных и эксплуатационных затрат; 2) уменьшение расхода дорогих импортируемых углеводородных ресурсов (природного газа, жидких топлив и др.); 3) обоснование рациональных классов и типов отечественного энергооборудования, работающего на местных ресурсах; 4) повышение энергоэффективности и энергобезопасности агропромышленного комплекса, комфортности жизнеобеспечения сельского населения; 5) увеличение притока квалифицированных и молодых специалистов в аграрное производство; 6) снижение стоимости энергоресурсов для коммунальной сферы.

Исследования выполняются в рамках заданий ГПНИ по программе «Энергетика» на 2016–2020 гг. и Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований, в рамках научной школы под руководством академика Герасимовича Л.С. при творческом сотрудничестве Белорусского государственного аграрного технического университета и Института энергетики НАН Бедаруси.

Цель исследования: разработка научно-методического инструментария и обоснование региональной кластерной системы демонстрационных зон высокой энергоэффективности с использованием местных ресурсов в жилищно-коммунальной сфере агрогородков.

Актуальные задачи исследования:

1. Обзор состояния проблемы и перспективы демонстрационных зон высокой энергоэффективности комплексных энергосистем агрогородков;
2. Разработка, верификация и исследование многофакторной имитационной модели кластера демонстрационных зон комплексных энергосистем;
3. Разработка и апробация методики расчета региональной системы кластеров демонстрационных зон в АПК Республики Беларусь с использованием местных ресурсов;
4. Обоснование принципов создания системы интеллектуального энергосберегающего управления в ДЗВЭ для различных кластеров автономного и централизованного энергоснабжения.

Исследования выполняются на кафедре энергетики и в лаборатории возобновляемой энергетики Республиканского научно-практического центра Белорусского государственного аграрного технического университета, в со-

трудничестве с возможными потребителями и заказчиками (проектные организации Республики Беларусь, Российская Федерация, Китай и др.).

Основные методы исследования – аналитические и экспериментальные с использованием математического и имитационного моделирования, и компьютерных технологий обработки данных вычислительных экспериментов.

Вывод. Создание демонстрационных зон позволит осуществлять накопление и адаптацию зарубежного и отечественного опыта, привлечение прямых иностранных инвестиций с целью дальнейшего развития экономики, жилой и социальной сферы АПК Беларуси.

Список использованных источников

1. Энергоэффективность аграрного производства / В.Г. Гусаков [и др.]; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т экономики, Ин-т энергетики; под общ. ред. В.Г. Гусакова, Л.Л. Герасимовича. - Минск: Беларус. навука, 2011. – 776 с.
2. Герасимович Л.С. Методология научного обоснования аграрных комплексных энергосистем с использованием местных ресурсов, / Л.С. Герасимович, О.Л. Сапун, А.В. Синенький // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2019. – Т.57, №1. – С.93–109.

**Забелло Е.П., д.т.н., профессор кафедры ЭСХП
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь**

КОСВЕННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ НАГРУЗКАМИ В УСЛОВИЯХ РАЗВИТИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Существующие методы и средства управления электрическими нагрузками отличаются большим разнообразием. В первую очередь методы управления нагрузками разделяются на методы энергосистемы и методы потребителя. В энергосистеме различаются прямые и косвенные методы, у потребителя – методы управления режимами энергоустановок, управления нагрузками-аккумуляторами, местными энергоисточниками и повышение КПД установок. Прямые методы управления в энергосистеме – это административно-правовые и телеуправление, осуществляемые с помощью технических средств по заранее разработанным алгоритмам. Косвенные методы управления нагрузками, применяемые в энергосистеме, подразделяются на психологические (убеждение, пропаганда) и на экономические, охватывающие целую систему тарифов – статических и динамических.

Если при реализации прямых методов телеуправления нагрузками преобладает технический аспект в связи с необходимостью создания аппаратуры и сети телеуправления, то для косвенных методов управления более важен экономический фактор. В наибольшей степени он выражается при разработке тарифных систем, учитывающих форму графиков нагрузки.

Принципы, которыми руководствуются при этом во всех странах мира, были сформированы еще в 1956 году комиссией под руководством Э. Герберта при разработке тарифной политики для своей страны. Это следующие принципы:

- тарифы должны отражать стоимость снабжения энергией, включая прибыль и налоги;
- тарифы должны быть ясными по цели и простыми;
- требуется дифференцирование по зонам суток и сезонам;
- тарифы должны стимулировать потребление энергии в непииковый промежуток времени;
- перед введением тарифов они должны быть экспериментально проверены.

Как следует из перечисленных выше принципов, технический и экономический аспекты рассматриваются не просто как взаимосвязанные, но и как взаимовлияющие, т.к. усложнение тарифных систем требует и соответствующего усложнения технических средств по сбору и обработке информации по энергопотреблению, а в свою очередь более сложные и универсальные технические средства позволяют внедрять и более гибкие тарифные системы.

Любое совершенствование тарифа связано с необходимостью иметь оперативную и достоверную информацию об электропотреблении, получение которой возможно с применением автоматизированных информационно-измерительных систем учета, контроля и управления энергопотреблением. С помощью таких систем возможно получение суточных графиков нагрузок любого потребителя, а на основе этих графиков и с учетом других средств измерений и суточных графиков нагрузок энергосистемы. Анализ подобных суточных графиков показывает, что тенденция роста их неравномерности сохраняется, и поэтому снижение пиковых нагрузок на контрольных интервалах (утренние, вечерние часы) остается острой проблемой и на ближайшую перспективу.

Рассмотрим для примера приведенные на рис. 1 суточные графики нагрузок энергосистемы (кривая 1) и график нагрузок жилого многоквартирного дома, построенные в относительных единицах.

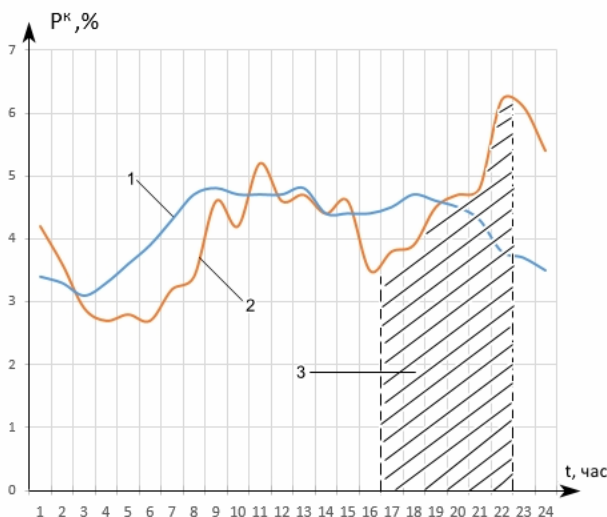


Рис.1 Суточный график нагрузок энергосистемы (кривая 1) и график нагрузок жилого многоквартирного дома

На рисунке приведена также временная зона (с 17.00 до 23.00); в течение которой с 1.07.2019 года установлена повышенная плата за электропотребление согласно дифференцированному трехзонному тарифу, действующему в соответствии с постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 01.07.2019 №442 и касающемуся коммунально-бытовых потребителей. Как видно из графика, тарифная зона с самой высокой ценой за электроэнергию определена не исходя из формы графика нагрузок энергосистемы, а с целью снизить вечернюю пиковую нагрузку коммунально-бытовых потребителей, пик которой только частично совпадает по времени с вечерним пиком нагрузки энергосистемы. В таких условиях снижение нагрузки, как видно из рисунка, во время с 20 до 23 часов и перенос ее в зону, например, с 8 до 12 часов, еще больше повысит утренний пик нагрузок энергосистемы, который в настоящее время практически равен вечернему. Добавим к этому то, что в целях стимулирования использования электроэнергии для нужд отопления и горячего водоснабжения в жилых домах (квартирах), не оборудованных в установленном порядке системами централизованного тепло- и газоснабжения, при наличии отдельного (дополнительного) прибора индивидуального учета расхода электрической энергии устанавливается льготный тариф в размере 0,0335 руб/кВтч (см. рис. 2), применение которого исключает стимулы регулирования нагрузок, хотя его реализация и не нарушает принципов построения АСКУЭ.

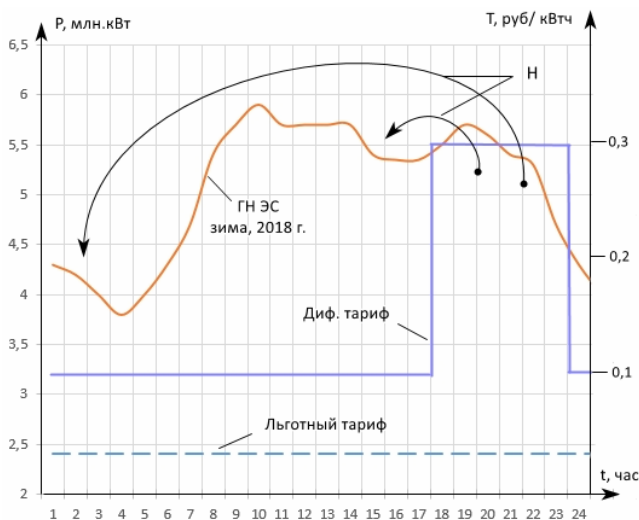


Рис. 2 Форма суточного графика нагрузок энергосистемы РБ и тариф на электроэнергию для населения (с 1.07.2019 г.)

Рассматривая техническую сторону проблемы, отметим, что еще в 2005 году было издано Постановление Совета Министров Республики Беларусь под названием «О мерах по внедрению в республике автоматизированной системы контроля и учета электрической энергии». В прилагаемом к Постановлению обоснованию были изложены цель, задачи и ожидаемые результаты и учитывая их важность и на сегодняшний день, приведем часть содержания этого обоснования.

Цель: обеспечить возможность работы энергосистемы по более равному графику электрических нагрузок на суточных, недельных и сезонных интервалах, ведение оперативного контроля за генерацией, передачей, распределением и потреблением энергии, внедрение гибких тарифных систем в условиях рынка энергии, закупаемой в соседних государствах, выявление источников небаланса и потерь (технических и коммерческих).

Ожидаемые результаты. Предлагается перераспределить вложение финансовых средств, идущих на реконструкцию и сооружение новых генерирующих источников таким образом, чтобы при тех же финансовых средствах, что заложены в прогнозах развития энергетики на 2010 и 2020 годы, обеспечить создание полномасштабной АСКУЭ, учитывая, что она позволит снизить пиковые нагрузки до 5% при полном внедрении. Снижение пиковых нагрузок в таком объеме к 2020 году обеспечит экономиию

капвложений до 450 млн. дол., учитывая, что ввод генерирующих мощностей обходится в 700 – 1000 дол/кВт.

Для реализации поставленной цели и получения ожидаемых результатов была разработана и утверждена Программа создания в республике в 2006-2012 годах автоматизированной системы контроля и учета электрической энергии согласно которой к 2012 году предстояло выполнить большой объем работ по 10 разделам Программы, включающим организационное, нормативно-правовое обеспечение, тарифы и тарифные системы, проектирование, техническое, метрологическое обеспечение, ремонтно-эксплуатационное обслуживание, технико-экономическое обоснование, подготовку и переподготовку кадров и др. Так как контрольный срок выполнения программы истек, то сегодня, не вдаваясь в подробности ее выполнения по всем разделам, можно отметить главное: методические, концептуальные подходы к разработке программы и полнота ее разделов были оправданными, однако, важность некоторых из них оказалась недооцененной, что привело к ряду издержек при выполнении сложной, многоплановой и непривычной для ряда специалистов и ответственных работников программы.

Главной составляющей недооценки предложенных подходов к разработке Программы был просчет при определении источников ее финансирования, так как замену и модернизацию средств расчетного учета электрической энергии и создание АСКУЭ у потребителей было поручено производить за счет средств этих потребителей (на основе заключенных договоров) и части средств инновационного фонда, образуемого Министерством энергетики для финансирования программ по энергосбережению, мероприятий по внедрению новых энергоэффективных технологий и оборудования. В результате даже по состоянию на настоящее время (2019 год) нельзя говорить о внедрении АСКУЭ в полном объеме. В результате выравнивания суточных графиков электрических нагрузок в существенном объеме не происходит, а основной объем «выпадающих доходов» энергосистемы при изменении форм графиков в лучшую сторону у потребителей, оснащенных системами АСКУЭ, создают именно они, т.е. потребители, не оснащенные средствами автоматизированного энергоучета. Причиной такого положения является то, что схема предполагавшегося распределения затрат на создание полномасштабной АСКУЭ была нарушена. На рисунке 3 приведена эта схема, где K_{Σ} – капвложения на создание АСКУЭ, образуемые за счет сокращения инвестиций в сооружение генерирующих источников, $K_{П}$, $K_{ЭС}$ – инвестиции, идущие на создание АСКУЭ потребителей и энергосистемы, $\Delta E_{П}$, $\Delta E_{ЭС}$ – составляющие экономического эффекта (доля потребителей и доля энергосистемы), $I_{П}$, $I_{Э}$ –

доли инвестиций, приходящихся на модернизацию АСКУЭ и совершенствование тарифных систем.

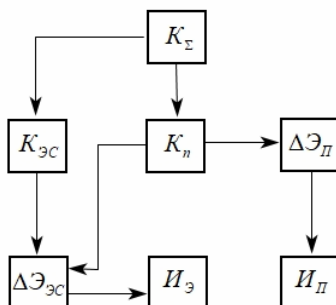


Рис. 3 Схема распределения затрат на создание АСКУЭ в энергосистеме

Концентрация инновационных средств в одних руках с последующим их распределением в соответствии со схемой, приведенной на рис. 3, позволила бы сегодня иметь полномасштабную эффективную АСКУЭ. Этого, к сожалению, не произошло, так как инновационные средства Минэнерго, направляемые на финансирование программ по энергосбережению, мероприятий по внедрению новых энергоэффективных технологий и оборудования, не предполагают их концентрации на основных направлениях, каковыми сегодня является создание, в том числе, и интеллектуальных информационно-измерительных и управляющих систем государственного масштаба.

Отсутствие координации действий по созданию АСКУЭ сказывается и на выборе состава технических средств, поскольку их рынок обширен и неуправляем, в связи с чем в эксплуатации находятся десятки типов электронных счетчиков и устройств сбора и передачи данных, не всегда функционально достаточных и надежных, а то и требующих существенных доработок программного обеспечения с целью объединения счетчиков и устройств в сеть, которая требует метрологической аттестации в целом. Например, для решения подобной задачи в Италии была привлечена фирма Enel, которая получила централизованный заказ на установку электронных электросчетчиков, объединенных в единую сеть учета 27 млн. абонентов. За первый год работы было установлено 8 млн. счетчиков, что говорит не только о хороших темпах работ, но и грамотном подходе к их организации, когда работой занимается крупная фирма с высоким рейтингом в своей области, обеспечивающая в первую очередь единообразие технических средств, их функциональную достаточность и надежность.

В энергосистеме республики такого не произошло, и сегодня, например, чуть ли не каждое управление облэнерго или уже организовало сборку некоторых технических средств АСКУЭ в контакте с различными заводами-

изготовителями, или собирается ее организовывать, что привело к разобщению работ по созданию единой надежной многофункциональной, ремонтно-пригодной и эффективно действующей интеллектуальной системы.

В создавшихся условиях в республике целесообразно создание единого информационно-управляющего комплекса, который должен обеспечить функционирование АСКУЭ всех уровней.

**Заяц Е.М., д.т.н., профессор, Кардашов П.В., к.т.н., доцент
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь**

ЭЛЕКТРОТЕРМОХИМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ОРГАНИЧЕСКИХ ДИСПЕРСНЫХ ГИДРОСИСТЕМ

Продукты сельскохозяйственного производства растительного и животного происхождения (овощные и фруктовые соки, молочные сыворотки, растворы для выращивания микроорганизмов, влажные и увлажненные корма и др.) с определенной условностью можно объединить названием «органические дисперсные гидросистемы» (ОГС). С целью повышения эффективности использования питательного потенциала, интенсификации извлечения или образования полезных веществ, а также обеззараживания ОГС подвергают различным видам обработки: механической, термической химической, комплексной. В общем виде процессы между клеткой дисперсной частицы и жидкой фазой ОГС, скорость которых

$$\vartheta = K \exp \frac{G}{RT} S_{yo} (C^s - C^0), \quad (1)$$

где K – предэкспоненциальный множитель; G – энергия активации химической реакции; R – газовая постоянная; T – температура; S – удельная площадь реакционной поверхности; $(C^s - C^0)$ – движущая сила процесса; C^s и C^0 – концентрации активных ионов на поверхности мембраны клетки и в объеме раствора.

Традиционные технологии интенсифицируют процессы (1) изменением площади реакционной поверхности (например, измельчение материала), повышением температуры, увеличением концентрации активных ионов путем внесения химреагентов.

Одним из направлений углубления и снижения энергоемкости и обработки ОГС, по нашему мнению, является электротермохимическая обработка, основанная на изменении концентрации активных ионов и температуры путем пропускания электрического тока через среду, расположенную между электродами, разделенными ионопроницаемой мембраной. В этом случае от количества электричества зависит концентрация ионов в жидкой фазе среды и на поверхности частицы, а также ее заряд и потенциал.

Концентрация ионов в жидкой фазе определяется как

$$C^0 = C^{in} + \frac{q}{F}(\eta_a + \eta_c), \quad (2)$$

где C^{in} – начальная концентрация активных ионов в жидкой фазе; $\eta_a + \eta_c$ – выход по току анионов и катионов, соответственно, q – количество электричества, протекающее через ОГС; F – число Фарадея.

Концентрация ионов на мембране клетки дисперсной частицы

$$C^s = C^0 \pm \frac{q\delta^2 \Delta n}{zFD\tau}, \quad (3)$$

где δ – толщина диффузионного слоя; z – заряд ионов; D – коэффициент диффузии ионов в растворе; τ – время обработки; Δn – разность чисел переноса ионов в мембране и растворе.

В формуле (3) знак (+) соответствует концентрации анионов на анодной стороне и катионов на катодной стороне мембраны клетки, знак (–) – концентрация анионов на катодной стороне и катионов на анодной стороне клеточной мембраны.

Концентрация ионов в среде и на поверхности мембраны клетки влияет на заряд дисперсной частицы (4) и на потенциал ее поверхности (5).

Суммарная плотность поверхности заряда частицы

$$p_n = \frac{\rho_b C_{n+}^2 + K_a (\rho_b - \rho_a) C_{n+} - \frac{K_w K_a}{K_b} p_a}{C_{n+}^2 + \left(\frac{K_w}{K_b} + K_a \right) C_{n+} + \frac{K_w K_a}{K_b}}, \quad (4)$$

где ρ_a и ρ_b – плотность зарядов кислотной и основной групп, соответственно; K_a , K_b , K_w – константы диссоциации кислотной, основной и водной групп, соответственно.

Потенциал на поверхности частицы

$$\varphi_n = \frac{\rho_n \cdot R_\mu}{2\varepsilon_c} l_n \left(\frac{h + \sqrt{R_\mu^2 + h^2}}{R_\mu} \right), \quad (5)$$

где ρ_n – суммарная плотность поверхностного заряда клетки, Кл/м²; R_μ – радиус поры мембраны клетки, м; h – толщина стенки мембранной клетки, м; ε_c – диэлектрическая проницаемость среды, Ф/м.

Потенциал частицы (белковой молекулы, микробной клетки и др.) существенно влияет на поведение и развитие этих микрочастиц в электрическом поле. В наших работах (Дубодел И.Б, Заяц А.Е, Кардашов П.В, Кривовязенко Д.И, Янко М.В) показаны примеры технологического использования влияния электрического потенциала частиц на их взаимодействие при коагуляции коллоидных сред (6, 7), диффузию ионов через мембрану микробной клетки (8) при выращивании микроорганизмов.

Для двух сферических частиц энергия электростатического отталкивания

$$W_s = 16\varepsilon_c\varepsilon_0 \left(\frac{RT}{F} \right)^2 th \left(\frac{\varphi_0 z_i e}{4kT} \right) \frac{a}{S} \exp[\chi a(S-2)], \quad (6)$$

где ε_0 – диэлектрическая проницаемость вакуума, Ф/м; ε_c – относительная диэлектрическая проницаемость коллоидной среды; R – газовая постоянная, Дж/моль·К; T – температура, К; φ_0 – полный потенциал, В; z_i – валентность i -го иона; e – заряд электрона, Кл; k – постоянная Больцмана, Дж/К; F – число Фарадея, Кл · моль⁻¹; a – размер частицы, м; S – относительное расстояние между частицами; χ – параметр Дебая – Гюккеля, м⁻¹.

Энергия диполь – дипольного взаимодействия

$$W_d = -4\varepsilon_0\varepsilon_c \left[0,5 - 3 \frac{ch \left(\frac{\varphi_0 z_i e}{2kT} \right) - 1}{4ch \left(\frac{\varphi_0 z_i e}{2kT} \right) + \chi_a} \right]^2 \left(\frac{a}{S} \right)^3 E^2, \quad (7)$$

где E – напряженность внешнего электрического поля, В/м.

$$D_\phi = D_0 \cdot e^{\left(-\frac{6F\varphi_n}{RT} \right)}, \quad (8)$$

где D_ϕ , D_0 – коэффициент диффузии питательного вещества через мембрану клетки и в среде, м²/с; ϕ – эмпирический коэффициент; φ_n – по-

тенциал на входе в пору мембраны клетки, В; F - число Фарадея, Кл/моль; R - универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К); T – температура, К.

Применительно к органическим водным растворам основными активными ионами являются H^+ и OH^- , которые и создают на поверхности клетки (частицы) группы кислотных и основных зарядов.

Минимальное, оказываемое мембраной сопротивление диффузии молекул и ионов из внешней среды в клетку и, следовательно, максимальная обработка будут иметь место, когда мембрана электрически нейтральна. В этом случае концентрации H^+ , OH^- и pH являются оптимальными:

$$C_{H^+OH^-} = K_a \left[\frac{p_a - p_b}{2p_b} + \sqrt{\frac{(p_a - p_b)^2}{2p_b^2} + \frac{K_w p_a}{K_a K_b p_b}} \right], \quad (9)$$

$$pH_{opt} = \lg K_a + \lg \left[\frac{p_a - p_b}{2p_b} + \sqrt{\frac{(p_a - p_b)^2}{2p_b^2} + \frac{K_w p_a}{K_a K_b p_b}} \right], \quad (10)$$

Причем:

$$K_a = \frac{C_{H^+} C_{a^-}}{C_{H^+ a^-}}, \quad K_b = \frac{C_{OH^-} C_{b^+}}{C_{OH^- b^+}}, \quad K_w = \frac{C_{H^+} C_{OH^-}}{C_{H_2O}}, \quad (11)$$

где C_{H^+} , C_{OH^-} – концентрация ионов H^+ и OH^- , соответственно; C_{a^-} , C_{b^+} – концентрации кислотного и основного продукта.

Оптимальное количество электричества для изменения ионного состава среды:

$$Q_{opt}^{c(a)} = \frac{dC_{c_i(a_j)}^{a(c)}}{\int_0^\tau n_{c_i(a_j)} d\tau} = \frac{\left(\frac{K_a K_w}{K_b} \pm C_{H^+}^{a_0(c_0)} \right) F \tau}{\int_0^\tau n_{c_i(a_j)} d\tau}, \quad (12)$$

где $n_{c_i(a_j)}$ – число переноса катионов (анионов).

Количество энергии на изменение температуры среды находят общеизвестным расчетом. Распределение температуры в подвижной дисперсной гидросистеме определяется из уравнения теплопереноса

$$p C_p \frac{\partial T}{\partial t} + p C_p \vec{V} \nabla T = \nabla [\lambda \nabla T] + \gamma E^2, \quad (13)$$

с условиями начальными ($T_{\tau=0} = T_0$) и граничными

$$\lambda(x, y, z) \Delta T = \alpha_1 (T_{env} - T),$$

где $\lambda(x, y, z)$, $\rho(x, y, z)$, $C_p(x, y, z)$ – теплопроводность, плотность и теплоемкость обрабатываемого материала, α_1 – коэффициент теплоотдачи на границе, T_0 – начальная температура обрабатываемого материала; T_{env} – температура окружающей среды; $\vec{V}$ – вектор скорости, $\gamma(T, x, y, z)$ – удельная электрическая проводимость материала; $E(x, y, z)$ – напряженность электрического поля.

Совместное решение уравнений (1) – (13) позволит определить диапазон оптимальных значений параметров электрообработки ОГС. Следует отметить, что постановка задачи (1) – (13) является не полной, т.к. она должна быть дополнена уравнение электро- и гидродинамики для расчета вектора скорости и напряженности электрического поля с соответствующими начальными и граничными условиями. К сожалению, такая система в общем виде не имеет аналитического решения, поэтому точность рассчитываемых параметров будет устанавливаться применяемыми для решения численными методами.

Основными направлениями электротермохимической обработки могут быть: активация воды и водных растворов; обработка влажных кормовых материалов; выделение белков из сырья растительного и животного происхождения; очистки технологических сточных вод предприятий; регуляция биологической активности микрофлоры и др.

**Гируцкий И.И., д.т.н., доцент; Сеньков А.Г., к.т.н., доцент
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь**

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КОМПЬЮТЕРИЗАЦИИ ПРЕДПРИЯТИЙ АПК

Первые шаги в области автоматизации сельскохозяйственного производства относятся к началу второй половины прошлого века и были основаны на заимствованном из промышленности принципе «жесткой логики». Такие системы автоматизации поточно-технологических линий, например, в свиноводстве, были выполнены на релейно-контактной базе и не удовлетворяли требованиям реального производства.

Повышение конкурентоспособности сельскохозяйственного производства не в малой степени связано с использованием «информационного ресурса», компьютеризацией и роботизацией технологических процессов и установок [1,2]. Для их реализации идёт внедрение новых информационных технологий управления. Здесь еще нет устоявшейся терминологии,

поэтому можно встретить такие определения, как точное, высокотехнологичное или координатное управление, точные технологии в животноводстве, в молочном скотоводстве и т.п. Но при этом суть нововведения сводится к интегрированной информационной системе управления сельскохозяйственными технологиями с целью повышения их эффективности, улучшения количественных и качественных показателей производимой сельскохозяйственной продукции, с учетом индивидуальных особенностей живых организмов и влияния на них параметров окружающей среды, а также минимизацией воздействий этих технологий на окружающую среду. Например, переход от группового кормления и доения коров к индивидуальному, приводит к необходимости увеличения в сотни и тысячи раз объемов получаемой и перерабатываемой информации. Причем постоянное снижение стоимости программно-технических средств построения систем управления делает эффективным расширение сфер их применения. Благодаря этому и сельскохозяйственное производство, несмотря на его, относительно низкую удельную стоимость продукции, получает возможность широкомасштабных применений достижений научно-технического прогресса.

Внедрение новых информационных технологий управления осуществляется двумя направлениями:

- разработка принципиально новых технологий, оборудования и предприятий с многоуровневыми компьютеризированными системами управления;
- модернизация систем управления действующих установок, технологических процессов и предприятий.

В качестве яркого примера первого направления можно привести разработку и внедрение роботизированных доильных установок. Но такие полностью безлюдные технологии являются дорогостоящими и находят применение в развитых странах, где существует высокий уровень оплаты труда.

Необходимо найти оптимальное соотношение между задачами двух направлений, понимая, что развитие интеллектуального направления разработки систем автоматизации производства является реальным средством снижения энергоемкости ВВП Беларуси, достижения цели импортозамещения и снижения интеллектуальной зависимости.

Взросшие вычислительные возможности современных компьютеризированных контроллеров, позволяют осуществлять управление сложными биотехническими объектами без участия человека и тем самым кардинальным образом изменить подходы к проектированию технологического оборудования. Механизация производства была связана с непрерывным увеличением единичной мощности оборудования. Это обусловлено необходимостью повышения производительности труда человека, осуществ-

ляющего управление средствами механизации. Увеличение единичной мощности оборудования сопровождается ростом его металло- и энергоемкости. При типовом оборудовании на свиноводческих комплексах, требующих присутствия оператора, принято 2-разовое кормление. Внедрение современных инфокоммуникационных технологий управления, позволяющих исключить обязательное присутствие оператора, может дать трех- и более кратное снижение энергозатрат на раздачу жидкого корма по сравнению с 2-разовым кормлением[3].

Новейшее поколение кормораздаточного оборудования, реализующего технологию многоразового кормления по поедаемости, внедрена в цехе откорма СПК «Восходящая Заря» Брестской области. Использование средств точного дозирования и частотно-регулируемого привода кормового насоса, позволяет полностью, без остатка, раздавать жидкий корм и экономить до 30...40% электроэнергии. Многократное увеличение ежесуточного числа кормлений позволило существенно уменьшить материалоемкость и производительность оборудования, повысить продуктивность животных. Приготовление и раздача корма осуществляется в автоматическом режиме, без необходимого присутствия оператора. Использование удаленного контроля и управления позволяет оперативно реагировать и устранять возможные отказы оборудования.

Реализация потенциальных возможностей развития и освоения рынка модернизации систем управления технологических и производственных процессов действующих предприятий требует разработки соответствующей методологии. Обычно сельскохозяйственные производители имеют весьма ограниченный бюджет и в тоже время задачи управления достаточно сложны в реализации. У заказчика не всегда имеется описание, и даже понимание алгоритма функционирования биотехнического объекта. Неподготовленность сельскохозяйственного производства к компьютеризации, нестабильность сырьевых и энергетических потоков требуют нетривиальных алгоритмов управления, дополнительных функций диагностики технологического оборудования и т.п. Исходя, из этих предпосылок сформулированы, следующие принципы, позволяющие обеспечить успешность внедрения информационно-управляющих систем в сельскохозяйственное производство Беларуси и других стран СНГ:

- учет биотехнического характера сельскохозяйственного производства;
- максимальное использование программно-технических средств общепромышленного применения;
- ориентация на концепцию компьютерно-интегрированного производства;
- развитие научно-учебной базы агроинженерных университетов.

Список использованных источников

1. Мусин, А.М. Технологический эффект автоматизации биотехнических систем производства [текст]/ А.М. Мусин //Автоматизация сельскохозяйственного производства. Сборник докладов Международной научно-технической конференции (29-30 сентября 2004 г., г. Углич). Часть 2.– С. 66-76.

2. Гируцкий, И.И. Поточно-механизированные линии с микропроцессорным управлением для откорма свиней/ Автореферат дисс. на соиск. степ. д.т.н., Москва, ФГОУ ВПО МГАУ, 2008. – 36 с.

3. Гируцкий, И.И. Энергосберегающий потенциал интеллектуальной раздачи жидких кормов на свиноводческих комплексах /И.И. Гируцкий, А.Г. Сеньков, Н.М. Матвейчук// Mechanization in agriculture/ Year LX1, ISSN 08`61-9638, issue 10/2015, Bulgaria.-p. 12-14.

СЕКЦИЯ 1 ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ АПК

Гецман Е.М, ст. преподаватель, Иселёнок Е.Б.
*Белорусский национальный технический университет г. Минск,
Республика Беларусь*
**РАСЧЁТ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ
ПОТЕРЬ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ 10-0,4 кВ**

Снижение потерь электроэнергии в электрических сетях может быть достигнуто в результате проведения мероприятий по оптимизации сети, когда снижение потерь энергии является одной из составляющих частей плана. Для определения приоритетных мероприятий по снижению потерь необходим тщательный анализ энергетических балансов электрических сетей; изучение результатов расчетов технических и коммерческих потерь электроэнергии, программного обеспечения расчетов данных потерь, учет режимов работы электрических сетей, применение приборов учета электроэнергии, организации мероприятий по снижению потерь и повышению их эффективности.

При оптимизации сети выделяют организационные, технические мероприятия и мероприятия по совершенствованию учета электроэнергии [1].

Необходимо отметить, что, прежде всего к мероприятиям по снижению потерь можно относить только мероприятия, снижающие потери в сети и в оборудовании, изначально функционирующих в нормальных технических условиях. Приведение условий в технически допустимые пределы не является мероприятием [2].

В качестве наглядного примера для осуществления технического мероприятия приведена диаграмма потерь электроэнергии в трансформаторах по району электрических сетей за год (рис. 1).

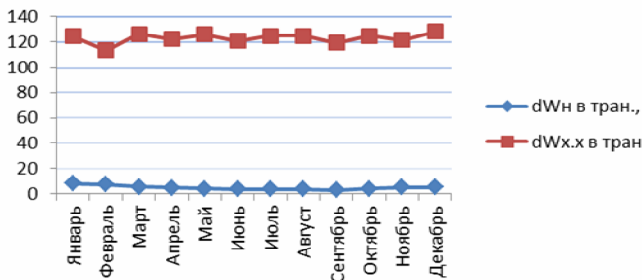


Рисунок 1 – Потери электроэнергии нагрузочные и холостого хода в трансформаторах за год в сети 10 кВ, тыс. кВт·ч

Из диаграммы видно, что потери холостого хода во много раз больше, чем нагрузочные потери трансформаторов, соответственно, можно делать

вывод, что нужна необходимость замены силовых трансформаторов 10/0,4 кВ меньшей мощности.

Замена недогруженного трансформатора на подстанции трансформатором меньшей мощности производится, если прогнозируемый на 4 – 5 лет коэффициент его загрузки в режиме наибольших нагрузок меньше нижнего предела экономически целесообразной загрузки, а установка трансформатора меньшей мощности не приводит к его перегрузке в нормальном режиме работы [2].

Таблица 1 – Годовой эффект при замене трансформатора

Марка	Потери хх, кВт	Потери хх в год, тыс. кВт·ч	Годовой эффект, тыс. кВт·ч, при замене на трансформатор						
			ТМ-10	ТМ-25	ТМ-40	ТМ-63	ТМ-100	ТМ-250	ТМ-400
ТМ-10	0,10	876,0							
ТМ-25	0,12	1 051,2	175,2						
ТМ-40	0,17	1 489,2	613,2	438,0					
ТМ-63	0,22	1 927,2	1 051,2	876,0	438,0				
ТМ-100	0,34	2 978,4	2 102,4	1 927,2	1 489,2	1 051,2			
ТМ-160	0,50	4 380,0	3 504,0	3 328,8	2 890,8	2 452,8	1 401,6		
ТМ-250	1,05	9 198,0	8 322,0	8 146,8	7 708,8	7 270,8	6 219,6		
ТМ-400	1,90	16 644,0	15 768,0	15 592,8	15 154,8	14 716,8	13 665,6	7 446,0	
ТМ-630	2,00	17 520,0	16 644,0	16 468,8	16 030,8	15 592,8	14 541,6	8 322,0	876,0
ТМ-1000	2,19	19 184,4	18 308,4	18 133,2	17 695,2	17 257,2	16 206,0	9 986,4	2 540,4

При выполнении этих условий и эффект от замены недогруженного трансформатора на трансформатор меньшей мощности определяется как результат одновременного снижения потерь электроэнергии холостого хода и увеличения нагрузочных потерь за счет увеличения продольного активного сопротивления их схемы замещения (табл. 1 и 2).

Таблица 2 – Замена недогруженных силовых трансформаторов

№ п/п	Диспетчерское наименование	Существующего	Планируемого к установке	Эффективность, кВт·ч
1	ЗТП-489	2х160	2х63	4905,6
2	КТП-200	63	25	876
3	КТП-201	100	63	1051,2
4	ЗТП-74	160	100	1401,6
5	ЗТП-345	400	250	7446
Итого:				15680,4

Точность расчётов технических потерь в трансформаторе зависит от правильности ввода исходных данных. Например, в программных комплексах по расчету потерь используются встроенные справочники по электрооборудованию, а реальные значения указанных параметров для конкретного трансформатора не всегда могут совпадать с этими справочными данными. Со временем параметры межвитковой изоляции ухудшаются, а если имели место случаи прохождения тока короткого замыкания по обмоткам трансформатора, то с большой степенью вероятности можно предположить, что параметр $\Delta P_{\text{кз}}$ будет гораздо выше значения, указанного заводом-изготовителем в паспортных данных.

В заключении, отметим, одними техническими мероприятиями, даже при грамотном их использовании потери электроэнергии не снизить до желаемой величины.

Список использованных источников

1. СТП 09110.09.300-17. Порядок расчета экономии топливно-энергетических ресурсов от внедрения основных энергосберегающих мероприятия на электростанциях, котельных, тепловых и электрических сетях.– Минск: «Белэнерго», 2017.-3с.

2. Динамика, структура, методы анализа и мероприятия по снижению потерь электроэнергии в электрических сетях 0,38-110 кВ распределительных сетевых компаний (АО-Энерго) России / В.Э. Воротницкий, М.А. Калинкина //Нормирование, анализ и снижение потерь электроэнергии в электрических сетях. – М., 2004.

**Забелло Е.П., д.т.н., профессор, Мисюк И.В., магистрант
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь**

ОБЕСПЕЧЕНИЕ РЕАЛИЗАЦИИ СЛОЖНЫХ ТАРИФОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ ЭНЕРГОУЧЕТА

Усложнение тарифов на электроэнергию обусловлено необходимостью учета не только количества, но и качества потребляемой энергии, степени ровности графика электрических нагрузок на суточных и сезонных интервалах. Неудовлетворительное качество электроэнергии в точках общего присоединения потребителей вызывает обоснованные претензии к поставщику, в связи с чем в договоре на пользование электрической энергией записано: «Энергоснабжающая организация (ЭС) обязуется поддерживать на границе балансовой принадлежности электросети между ЭС и

абонентом показатели качества электроэнергии в соответствии с действующими нормативными документами при соблюдении абонентом установленных режимов электропотребления». Из сказанного вытекает, что для обеспечения условий договора необходима его корректировка с учетом платы за нарушение показателей качества электроэнергии (ПКЭ). Однако в настоящее время такая корректировка не проводится, хотя необходимые технические средства для этого имеются как в виде специальных анализаторов ПКЭ, так и многофункциональных электронных счетчиков электрической энергии.



Рис 1. Структурная схема цифровой АСКУЭ с анализом ПКЭ.

ЦИК – Цифровой измерительный канал;

ПК – Персональный компьютер.

На рисунке 1 приведена структурная схема цифровой АСКУЭ, обеспечивающей в реальном времени выполнение следующих операций:

- измерение и учет активной и реактивной энергии в одном или двух направлениях;
- учет электроэнергии в многотарифном режиме;
- учет потерь электроэнергии;
- измерение фазных токов, напряжений активной, реактивной и полной мощностей, коэффициента мощности, частоты;
- контроль и управление нагрузкой через встроенное или внешнее реле отключения;
- функции измерителя ПКЭ (измерение, обработка, накопление и хранение данных по основным показателям качества электрической энергии [1,2];
- функции устройства сбора и передачи данных (УСПД).

Согласно схеме, приведенной на рисунке 1, информация с нижнего уровня собирается на среднем уровне, который реализуется с помощью устройств: концентраторов, УСПД, мультиплексоров и т.д. Далее информация подается на верхний уровень, который для всех систем одинаков – это локальная вычислительная сеть (ЛВС, LAN), существующая корпоративно или специально созданная для АСКУЭ и АИИС (информационно-

измерительная сеть мониторинга нагрузок). Уровни связаны между собой каналами связи (проводными, модемными, оптоволоконными или радиоканалом), которые отвечают стандартам по обеспечению коммутативности различной аппаратуры.

Непрерывная (на нижнем уровне) регистрация значений ПКЭ с интервалами усреднения, установленными стандартом, позволяет представить общее количество потребленной электроэнергии в следующем виде:

$$W_{\Sigma} = W_{\text{норм}} + W_{\text{нек}}, \quad (1)$$

где $W_{\text{норм}}$ – количество потребленной электрической энергии, при котором фактическое значение ПКЭ в точке реализации меньше значения ПКЭ, установленного в договоре на пользование электроэнергией и нормативно-технической документацией, кВт·ч;

$W_{\text{нек}}$ – количество потребленной некачественной электрической энергии, при котором фактические значения ПКЭ превышают нормально и предельно допустимые значения, кВт·ч.

Учитывая, что удельные приведенные затраты на 1 кВт·ч отпущенной потребителю электроэнергии зависят от целого ряда факторов, то соответственно и плата за пользование электроэнергией за определенный период составит:

$$P_{\Sigma} = P_o + P_{\text{сн}}, \quad (2)$$

где $P_o = W_{\text{норм}} \cdot T_o$ – плата по тарифу T_o за потребленную электроэнергию, соответствующую требованиям качества;

$P_{\text{сн}}$ – плата за потребленную электроэнергию с качеством, не соответствующим требованиям, руб.

Плата за электроэнергию без учета ПКЭ определяется при любой схеме дифференцирования тарифов и, прежде всего тарифов, учитывающих форму графиков на суточных интервалах. При учете ПКЭ, если не допускать упрощений, необходимо определять эти показатели также дифференцированно по зонам суток, так как, например, нарушения ПКЭ в ночные часы не может быть эквивалентным нарушениям в часы пиковых нагрузок, когда включены наиболее ответственные потребители.

Список использованных источников

1. Забелло Е.П., Булах В.Г. Необходимость и пути наращивания функциональных возможностей систем учета, контроля и управления энергией // Энергетика и ТЭК. – 2013. – №1. – с.12 – 15.
2. Забелло Е.П., Булах В.Г. Учет качества электрической энергии в тарифах потребителей // Энергетика и ТЭК. – 2013. - № 11/12. – с. 46–49.

**Збродыга В.М., к.т.н., доцент, Зеленкевич А.И., ст. преподаватель,
Вакулич Р.С., студент, Ершов В.В., студент
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь**
**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ
ПРУП «ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ БАЗА
ИМЕНИ Г.И. КОТОВСКОГО»**

Электрическая энергия, потребляемая ПРУП «ЭБ им. Г.И. Котовского» расходуется на промышленные и непромышленные нужды. К первым относится расход электроэнергии на основные и вспомогательные производственные процессы, освещение, вентиляцию, хозяйственно-бытовые нужды, служебных и складских помещений, а также потери электроэнергии в электрических сетях напряжением до 1 кВ и выше 1 кВ.

Электрический баланс предприятия состоит из приходной и расходной частей. Приходная часть отражает сведения о количестве электроэнергии, поступившей к объекту, расходная – о полезном потреблении электроэнергии и ее потерях.

Приходная часть баланса фиксируется приборами коммерческого учета электроэнергии. Расходную часть определяем, на основании статистических данных потребления электроэнергии структурными подразделениями производства, используя данные технического учета электроэнергии. При недостаточности данных технического учета используется расчетно-аналитический метод. Применение статистических данных в сочетании с расчетно-аналитическим методом позволяет более точно рассчитать и распределить энергопоток по структурным подразделениям производства.

Как видно из графика (рис.1), общее потребление электроэнергии в разрезе года достаточно равномерное, а увеличение потребления в августе месяце обусловлено работой сезонных потребителей (зерносушилки).

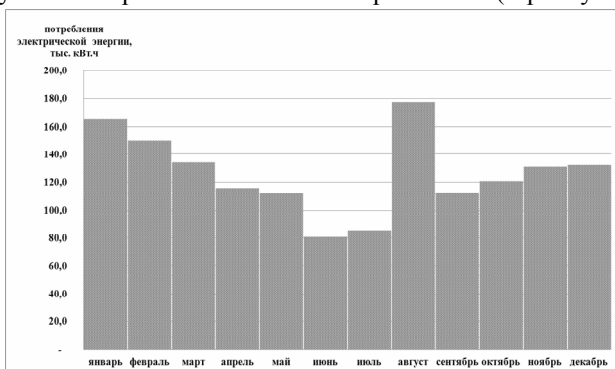


Рисунок 1. Общее потребление электрической энергии (кВт·ч) по предприятию

Структура электропотребления, представленная на диаграмме (рис. 2) показывает, что наиболее электроемкими потребителями являются молочно-товарные фермы, следовательно, при разработке мероприятий по энергосбережению им необходимо уделить основное внимание.



Рисунок 2. Структура потребления электрической энергии

Структура электропотребления, представленная на диаграмме (рис. 3) показывает, что наиболее электроемкими потребителями являются: МТФ на 524 голов, МТФ «Озеро-1», МТФ «Озеро-2», МТФ «Дещенка», МТФ «Володьки», МТФ «Басмановка».

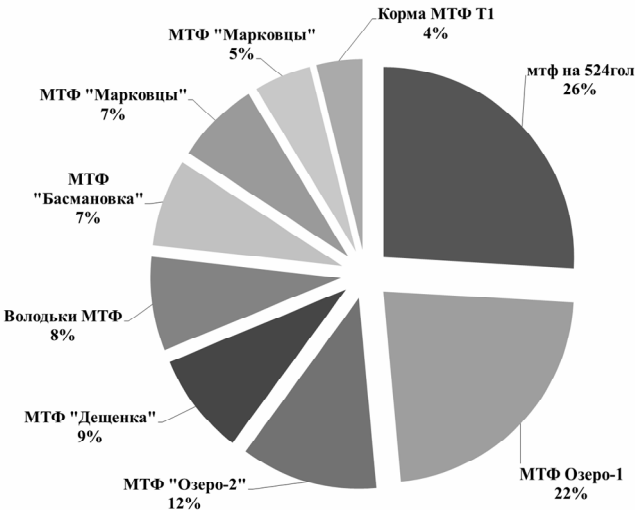


Рисунок 3. Структура потребления электрической энергии на МТФ

Проведение исследований электропотребления объектов, используя данные технического учета электроэнергии и статистических данных в сочетании с расчетно-аналитическим методом позволяет более точно рассчитать энергопотоки и разработать эффективные мероприятия по энергосбережению.

Список использованных источников

1. Коротинский, В.А. Исследование электропотребления и качества электроэнергии в электрических сетях предприятия ПРУП «Экспериментальная база имени Г.И. Котовского» / В.А. Коротинский, В.М. Збродыга, А.И. Зеленькевич // Агропанорама. – 2019. – № 3. – С. 30–36.

Казак Д.А.

ОАО «Минский электротехнический завод им. В.И. Козлова», Минск **ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ В СЕЛЬСКОМ** **ХОЗЯЙСТВЕ**

Экономное расходование топливно-энергетических ресурсов является одной из главных предпосылок для экономического роста сельскохозяйственных предприятий. Уменьшая потери электроэнергии в распределительных сетях, а также применяя энергосберегающее оборудование можно добиться ощутимых финансовых результатов. Кроме того применение передовых технологий является имиджевым шагом сельскохозяйственных компаний работающих на мировых рынках.

В 2018-м году ОАО «МЭТЗ ИМ В.И.КОЗЛОВА» вывел на рынок инновационную линейку трансформаторов ТМГ32, а в 2019-м ТМГ33, отвечающую строгим европейским стандартам энергоэффективности и экологичности.

Из силовых трансформаторов, серийно выпускаемых в СНГ, трансформаторы ТМГ33 обеспечивают один из самых малых уровней потерь холостого хода и короткого замыкания. Так, по сравнению с трансформаторами предшествующей модели ТМГ21 (наиболее часто применяемой в СНГ), в трансформаторах ТМГ33 удалось снизить потери холостого хода на 25-30%, а также потери короткого замыкания в зависимости от мощности на 10-20%.

Даже при коэффициенте загрузки 0,5 и времени использования максимальной нагрузки 2000 часов трансформатор ТМГ33 мощностью 1000 кВА по сравнению с аналогичным трансформатором ТМГ21 за год даст экономию электроэнергии более 4000кВт·ч. (таблица 1). Используя сниженный тариф «Белэнерго» для производственных нужд сельхозпредприятий 0,19888 BYN/кВт·ч издержки связанные с оплатой потерь элек-

троэнергии снижаются на 800 BYN/год, а при коэффициенте загрузки 0,9 снижение составит уже более 1250 BYN/год.

Применение в трансформаторе ТМГ33 более качественных материалов и конструкционные особенности привели к увеличению стоимости по сравнению с трансформаторами серии ТМГ21 на 30%, в то же время удорожание энергосберегающего трансформатора ТМГ32 в сравнении с ТМГ21 составило 9,9%.

Таблица 1. Стоимость потерь электроэнергии в процессе эксплуатации силового трансформатор

Серия транс-ра 1000 кВА	Рх.х., кВт	Рк.з., кВт	Годовые потери электроэнергии, кВт·ч	Стоимость годовых потерь электроэнергии, BYN	Стоимость транс-ра для субъектов РБ, BYN	Стоимость транс-ра + стоимость потерь электроэнергии за срок службы 25 лет, BYN
ТМГ33	0,957	9,545	13 155	2 616	17 404	82 814
ТМГ32	1,1	10,5	14 886	2 960	14 562	88 575
ТМГ21	1,3	11,6	17 188	3 418	13 241	98 699

Несмотря на увеличение инвестиций, разница в стоимости трансформаторов может быть компенсирована через 2-6 лет (рисунок 1), а учитывая срок эксплуатации трансформатора 25 лет экономия на оплате электроэнергии будет сопоставима со стоимостью трансформатора.

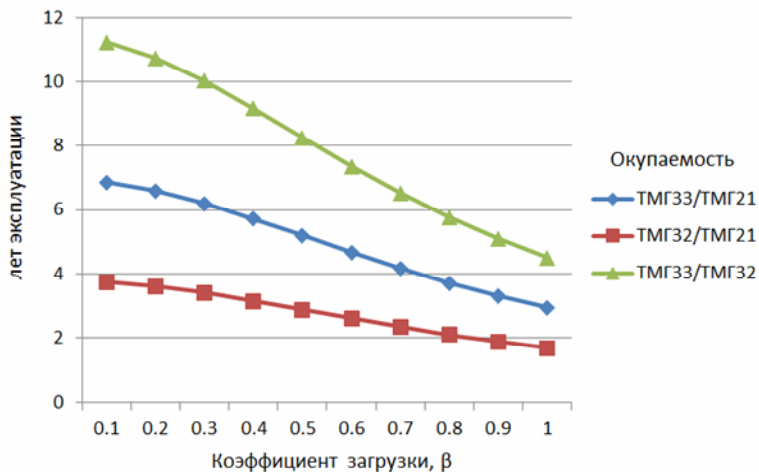


Рис. 1. Зависимость срока окупаемости дополнительных инвестиций на трансформаторы ТМГ32 и ТМГ33 по отношению к трансформаторам ТМГ21 в зависимости от средней нагрузки.

Принимая во внимание мировой тренд на борьбу с глобальным потеплением, при выборе трансформатора в сельском хозяйстве важно учитывать влияние на эмиссию парниковых газов. Замена 1000 трансформаторов ТМГ21 на энергосберегающие ТМГ21 даже при сниженных эксплуатационных характеристиках создаст эффект энергосбережения более 490 тонн условного топлива, что эквивалентно снижению выбросов парниковых газов более, чем на 800 тонн в год, таким образом за 25 лет снижение составит 20 тысяч тонн.

Таким образом, применение в сельском хозяйстве Республики Беларусь энергоэффективных трансформаторов экономически целесообразно, а выбор оптимального режима работы позволит не только достичь дополнительной экономии, но и снизить эмиссию парниковых газов.

Список использованных источников

1. Радкевич, В.Н. Электроснабжение промышленных предприятий: учеб. пособие / В.Н. Радкевич, В.Б. Козловская, И.В. Колосова. – Минск : ИВЦ Минфина, 2015. – 589 с.
2. Радкевич, В.Н. Расчёт электрических нагрузок промышленных предприятий: учебно-методическое пособие для студентов спец. 1-43 01 03 «Электроснабжение» / В.Н. Радкевич, В.Б. Козловская, И.В. Колосова. - Минск.: БНТУ, 2013. – 124с
3. Силовые трансформаторы: каталог : разработчик и изготовитель ОАО «Минский электротехнический завод им.В.И.Козлова» – Минск, 2019. – 89с.

Калентюнок Е.В., к.т.н., доцент, Волков А.А.

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

АВТОМАТИЧЕСКОЕ СЕКЦИОНИРОВАНИЕ СЕЛЬСКИХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Сельские воздушные распределительные электрические сети характеризуются большой протяженностью и разветвленностью, многообразием применяемого оборудования. Общая протяженность отдельных линий доходит до 50 км с большим числом ответвлений. В качестве коммутационных аппаратов применяются, в основном, выключатели нагрузки и разъединители с ручным управлением. Поэтому любое повреждение на линии вызывает отключение и прекращение электроснабжения потребителей, подключенных к ней. Поскольку процесс поиска и локализации повреждения выполняется оперативными выездными бригадами путем осмотра и оперативных переключений в поврежденной линии, то длительность прекращения электроснабжения потребителей составляет от нескольких часов до суток. Наиболее эффективным способом уменьшения времени от-

ключения потребителей, особенно электроприемников I и II категорий, и снижения затрат энергоснабжающих организаций на поиск мест повреждений и обеспечения нормируемого уровня надежности является автоматизация распределительных электрических сетей путем применения автоматически управляемых коммутационных аппаратов. В качестве таковых могут использоваться выключатели, реклоузеры, а также выключатели нагрузки, интеллектуальные разъединители или отделители, имеющие автоматику, действующую на их отключения в бестоковую паузу.

Автоматическое секционирование, т.н. деление линии на несколько участков с помощью автоматически управляемых аппаратов позволяет [1, 2]:

- повысить надежность электроснабжения и уменьшить недоотпуск электроэнергии потребителям, т.к. возникновение повреждения на секционированном участке линии не приводит к отключению всех потребителей, получающих питание от данной линии электропередачи;
- локализовать участки линии с повреждениями;
- повысить уровень электробезопасности в распределительных сетях за счет сокращения времени работы линии в режиме с однофазными замыканиями на землю.

Однако любое секционирующее устройство требует затрат. Энергоснабжающая организация (компания) стремится к снижению затрат, связанных с обеспечением необходимого уровня надежности. Потребители электроэнергии, в свою очередь, стремятся к уменьшению ущерба и, следовательно, заинтересованы в высоком уровне надежности электроснабжения, зависящем от затрат на секционирующие устройства. Для разрешения этого объективно существующего противоречия между поставщиками и потребителями электроэнергии при оценке инвестиционного проекта по секционирующим устройствам может быть использован наиболее распространенный подход – минимизация приведенных затрат

$$Z_c(n) = p_c K_c(n) + Y(n) \rightarrow \min, \quad (1)$$

где $p_c = p_n + p_a + p_{т.о}$ – коэффициент отчислений от капитальных затрат; p_n – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений, назначение которого – приведение капитальных затрат к уровню ежегодных издержек; p_a – коэффициент отчислений на амортизацию; $p_{т.о}$ – коэффициент ежегодных издержек на текущий ремонт и обслуживание секционирующих устройств; $K_c(n)$ – капитальные затраты на установку n секционирующих устройств; $Y(n)$ – ущерб от нарушения надежности электроснабжения при установке n секционирующих устройств.

В условиях рыночной экономики для оптимизации секционирования сети целесообразно использовать чистый дисконтированный доход (ЧДД). При установке секционирующих устройства в течение одного года, ЧДД

при установке i -го секционирующего устройства предложено записывать в виде [3]

$$\text{ЧДД}_i = \sum_{t=1}^T \frac{D_{ti} - I_{ti} - K_{ti}}{(1 + E)^t}, \quad (2)$$

где T – расчетный период; D_{ti} – доход от i -го секционирующего устройства в год t ; I_{ti} – издержки в i -е секционирующее устройство в год t ; K_{ti} – капитальные затраты в i -е секционирующее устройство в год t ; E – норма дисконта.

Установка i -го секционирующего устройства целесообразна, если выполняется условие:

$$\text{ЧДД}_i > 0. \quad (3)$$

Выполненные многовариантные расчеты с помощью специально составленной на кафедре «Электрические системы» БНТУ программы на ЭВМ, позволили установить, что эффективность установки дополнительных автоматических секционирующих устройств, зависит от их типа и стоимости, надежности электроснабжения потребителей, повреждаемости, коэффициентов загрузки и длины распределительных линий электропередачи, принятого расчетного периода и выполнения технических ограничений в электрической сети.

Показано, что наиболее перспективным техническим решением для автоматического секционирования распределительных электрических сетей является использование дистанционно управляемых выключателей нагрузки, как в трансформаторных подстанциях, так и на воздушных линиях электропередачи.

Список использованных источников

1. Александров, И.Н. Автоматизация электрических распределительных сетей сельскохозяйственного назначения (основные указания). Обзорная информация / И.Н. Александров, А.З. Красновский. – Мн.: БелНИИНТИ, 1980. – 63 с.
2. Андриевский, Е.Н. Секционирование и резервирование сельских электросетей / Е.Н. Андриевский. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 112 с.
3. Фадеева, Г.А. Проектирование распределительных электрических сетей / Г.А. Фадеева, В.Т. Федина // Под. общ. ред. В.Т. Фебина. – Минск: Вышэйшая школа, 2009. – 356 с.

Константинова С.В., к.т.н., доцент, Ярошевич Т.М.
Белорусский национальный технический университет, Минск
К ВОПРОСУ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ АПК

Топливо-энергетический комплекс любой страны состоит из двух фундаментальных составляющих: топливо-энергетических ресурсов

(ТЭР) и энергетической системы, обеспечивающей электрической и тепловой энергией все хозяйственные секторы страны. Для объектов с непрерывным, но неравномерным потреблением энергии, таких как объекты ЖКХ и их инфраструктура, городские жилые районы, районные центры, городские поселки, сельскохозяйственные регионы представляет интерес введение в эксплуатацию нового класса энергетического оборудования – микротурбин (30 кВт–1 МВт). Новый класс микроэнергоустановок по своим возможностям набора и сброса нагрузок уже не уступает ГЭС

Микротурбинные установки Capstone имеют отличную эластичность к нагрузке без существенного снижения КПД. Генераторы способны работать в диапазонах нагрузки от 0 до 100% номинальной мощности без остановок. КПД турбогенераторов в режиме когенерации достигает 90% и более.

Создание нового класса микроэнергоустановок является базовым основанием для эффективной практической реализации концепции распределенных систем генерации. Этот класс энергоустановок может оказаться весьма эффективным для решения проблемы энергообеспечения АПК и также покрытия пиковых нагрузок белорусской энергосистемы.

Следует учесть, что в стране осуществляется сплошная газификация. В настоящее время уже все районные центры газифицированы и интенсивно газифицируются городские поселки и населенные пункты. Все населенные пункты, практически каждый дом, электрифицированы. Создана густая распределительная сеть напряжением 6–10 кВ. Поэтому в любом локальном центре электрических и тепловых нагрузок Беларуси может быть установлена микроэнергоустановка на базе газовой микротурбины соответствующей мощности для покрытия нагрузок, в том числе и предпиковых, с имеющейся инфраструктурой ТЭР и электрическими сетями. Это позволяет практически реализовать новые подходы к развитию энергетической системы страны, которая оставаясь единой будет состоять из интегрированных локальных систем, минимизирующих перетоки электрической энергии. Такая децентрализация будет способствовать повышению надежности работы энергосистемы, ее живучести при самых непредвиденных ситуациях. Возможность работы энергоустановок в автоматическом режиме, не требуя постоянного присутствия персонала при нормальном режиме работы упрощает создание центрального автоматического регулятора частоты и активной мощности, который позволит обеспечить автоматическое регулирование работы электростанций и минимизировать отклонения балансов электрической мощности.

Современный уровень теоретических, конструкторских разработок, технологий и промышленного производства энергооборудования, непрерывные поиски более эффективных решений позволяют констатировать, что проблема энергообеспечения АПК может быть решена с использованием концепции распределенного генерирования электрической энергии

Список использованных источников

1. Коротинский В. А., Гаркуша К. Э. Перспективы развития возобновляемой энергетики в Беларуси // Энергосбережение. Практикум. – 2009. – № 11.
2. Падалко Л. П. Повышение энергетической безопасности страны // Главный энергетик. – 2010. – № 3.
3. Поспелова Т., Кузьмич Г. Стратегический потенциал ресурсо- и энергосбережения // Энергетика и ТЭК. – 2008г. – № 7/8.
4. Короткевич А., Фомина О. Баланс мощностей Белорусской энергосистемы и проблема регулирования суточного графика нагрузок // Энергетика и ТЭК. – 2008. – № 4.
5. Быстрицкий Г. Ф., Хлебников Е. А. Микротурбинные установки в малой энергетике. // Главный энергетик. – 2010 г – № 6.

Короткевич М.А., д.т.н., профессор, Дашковский А.А.
Белорусский национальный технический университет, г. Минск,
Республика Беларусь
ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПОТЕРИ В КАБЕЛЯХ НА НАПРЯЖЕНИЕ
110 КВ С ИЗОЛЯЦИЕЙ ИЗ СШИТОГО ПОЛИЭТИЛЕНА

Диэлектрическими потерями в кабелях называют энергию, поглощаемую в изоляции, находящейся под воздействием переменного напряжения, в единицу времени. Определение значения диэлектрических потерь в кабелях с изоляцией из сшитого полиэтилена позволит выяснить их влияние на допустимые токи нагрузки. Указанные потери зависят от номинального напряжения и становятся значительными при определённых уровнях напряжения, соответствующих применяемому изоляционному материалу [1].

Диэлектрические потери мощности в кабелях на единицу длины в каждой фазе W_α , определяются по формуле

$$W_\alpha = \omega C U_\phi^2 \operatorname{tg} \delta, \text{ Вт/м,} \quad (1)$$

где ω – угловая частота, 1/с $\omega = 2\pi f = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314$ 1/с; C – ёмкость на единицу длины, Ф/м; U_ϕ – фазное напряжение; в сети 110 кВ равно 63,5 кВ; $\operatorname{tg} \delta$ – коэффициент диэлектрических потерь, для кабелей на номинальное напряжение свыше 36 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена без наполнителя равняется 0,001 [1].

Ёмкость C для круглых жил определяется следующим образом:

$$C = \frac{\varepsilon \cdot 10^{-9}}{18 \ln \left(\frac{D_i}{d_C} \right)}, \text{ Ф/м,} \quad (2)$$

где ε – относительная диэлектрическая проницаемость изоляции, для кабелей без наполнителя 2,5 [1]; D_i – наружный диаметр по изоляции (исключая экран по изоляции), мм, $D_i = d_{\text{ж}} + 2\Delta_{\text{эк}} + 2\Delta_{\text{из}}$; d_c – диаметр жилы, включая экран, если он имеется, мм; $d_{\text{ж}}$ – диаметр токопроводящей жилы, мм; $\Delta_{\text{эк}}$ – толщина полупроводящего экрана по жиле, мм; $\Delta_{\text{из}}$ – толщина изоляции из сшитого полиэтилена, мм. $d_c = d_{\text{ж}} + 2\Delta_{\text{эк}}$ Толщину входящих в изоляционную конструкцию кабеля элементов принимаем по [2].

Тепловое сопротивление изоляции (между жилой и экраном) T_1 можно определить:

$$T_1 = \frac{\rho_T}{2\pi} \ln \left(1 + \frac{2\Delta_{\text{из}}}{d_{\text{ж}}} \right), \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{м/Вт} \quad (3)$$

где ρ_T – удельное тепловое сопротивление сшитого полиэтилена, равняется $3,5 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{м/Вт}$ [3].

Тепловое сопротивление между экраном и броней T_2 :

$$T_2 = \frac{\rho_T}{2\pi} \ln \left(1 + \frac{2\Delta_{\text{под}}}{D_s} \right), \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{м/Вт} \quad (4)$$

где ρ_T – удельное тепловое сопротивление поливинилхлорида, равняется $6 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{м/Вт}$ [3]; $\Delta_{\text{под}}$ – толщина подушки, мм; D_s – наружный диаметр экрана, мм, $D_s = D_i + 2\Delta_{\text{эи}} + 2\Delta_{\text{разд}} + 2d_{\text{экp}}$; $\Delta_{\text{эи}}$ – толщина полупроводящего экрана по изоляции, мм; $\Delta_{\text{разд}}$ – толщина разделительного слоя, мм; $d_{\text{экp}}$ – диаметр проволок медного экрана, мм.

Тепловое сопротивление наружного защитного покрытия T_3 :

$$T_3 = \frac{\rho_T}{2\pi} \ln \left(1 + \frac{2\Delta_{\text{обол}}}{D_a'} \right), \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{м/Вт} \quad (5)$$

где $\Delta_{\text{обол}}$ – толщина наружного защитного покрытия, мм; D_a' – наружный диаметр брони, мм, $D_a' = D_{\text{вн}} - \Delta_{\text{обол}}$; $D_{\text{вн}}$ – наружный диаметр кабеля, мм.

Тепловое сопротивление окружающей среды T_4 для групп кабелей, проложенных в земле и одинаково нагруженных $\left(\frac{2L}{D_{\text{вн}}} > 5 \right)$:

$$T_4 = \frac{\rho_T}{2\pi} \left(\ln \left(\frac{4L}{D_{\text{вн}}} \right) - 0,142 \right), \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{м/Вт} \quad (6)$$

где ρ_T – удельное тепловое сопротивление земли, в зависимости от характера грунта может достигать значения от $1,8 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{м/Вт}$; L – глубина заложения кабеля в грунт, равна $1,5 \text{ м}$ для кабелей напряжением 110 кВ .

Температура нагрева кабеля от диэлектрических потерь Q_w :

$$Q_w = W_\alpha (0,5T_1 + T_2 + T_3 + T_4), ^\circ\text{C} \quad (7)$$

Результаты расчёта диэлектрических потерь мощности и температуры нагрева изоляции от диэлектрических потерь для одножильных кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 110 кВ представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчёта параметров кабеля

Площадь поперечного сечения жилы, мм ²	Диэлектрические потери W_α , Вт/м		Температура нагрева кабеля от диэлектрических потерь Q_w , °C	
	Медные жилы	Алюминиевые жилы	Медные жилы	Алюминиевые жилы
1x150(95)	0,169	0,161	0,658	0,688
1x185(95)	0,179	0,172	0,695	0,721
1x240(95)	0,203	0,195	0,776	0,805
1x300(95)	0,230	0,220	0,860	0,896
1x400(95)	0,263	0,252	0,977	1,016
1x500(95)	0,285	0,274	1,043	1,082
1x630(95)	0,313	0,308	1,149	1,167
1x800(95)	0,343	0,328	1,212	1,264
1x1000(95)	0,375	0,357	1,297	1,359

Примечание: в скобках указана площадь поперечного сечения медного экрана кабеля.

Как видно из результатов расчёта, в одножильных кабелях напряжением 110 кВ без наполнителя значения диэлектрических потерь могут достигать 0,375 Вт/м, а температура нагрева изоляции кабеля также незначительна.

Список использованных источников

1. ГОСТ Р МЭК 60287-1-1-2009. Кабели электрические. Расчёт номинальной токовой нагрузки. Часть 1-1. Уравнение для расчёта номинальной токовой нагрузки (100%-ный коэффициент нагрузки) и расчёт потерь. Общие положения. – М.: Стандартинформ, 2009. – 25 с.
2. Кабели и провода. Каталог продукции. Витебск: Производственное объединение «Энергокомплект», 2019. 136 с.
3. ГОСТ Р МЭК 60287-2-1-2009. Кабели электрические. Расчёт номинальной токовой нагрузки. Часть 2-1. Тепловое сопротивление. Расчёт теплового сопротивления. – М.: Стандартинформ, 2009. – 31 с.

Короткевич М.А., д.т.н., профессор, Подгайский С.И.
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
ПРОКЛАДКА КАБЕЛЕЙ С ТОКОПРОВОДЯЩИМИ ЖИЛАМИ
БОЛЬШИХ СЕЧЕНИЙ

Силовые электрические кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена изготавливаются в трехжильном исполнении с площадью поперечного сечения жил до 300 мм^2 и в одножильном – с площадью поперечного сечения жил до 1200 мм^2 .

Использование одножильных кабелей с токопроводящими жилами большой площади поперечного сечения позволит заменить несколько кабельных линий с трехжильными кабелями сечением 240 или 300 мм^2 .

Рассмотрим соотношение затрат на прокладку одной кабельной линии с одножильными кабелями крупных сечений и нескольких кабельных линий с трехжильными кабелями с меньшей площадью поперечного сечения токопроводящих жил.

Стоимость прокладки в земляной траншее трехжильных кабелей с бумажно-масляной изоляцией напряжением 6...35 кВ примерно равна стоимости самих кабелей, а напряжением 110 кВ – превышает стоимость кабелей в 2,0 раза [1]. Последнее характерно также и для прокладки трех однофазных кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена [2].

Затраты денежных средств или труда на прокладку кабеля в земляной траншее S состоят из затрат C_1 на рытье траншей, подчистку их дна, устройства нижнего и верхнего слоев песчаной подушки (толщиной 0,1 м для кабелей напряжением до 10 кВ) обратную засыпку грунтом траншеи; доставку и установку на домкраты барабанов с кабелем C_2 , раскатку кабеля с барабана и укладку его в траншею C_3 , укладку кирпича или железобетонных плит или сигнальной ленты C_4 .

Размеры земляных траншей для прокладки одного, двух, ..., шести параллельных кабелей напряжением 10 кВ приведены [3]. Площадь поперечного трапецеидального сечения траншеи составляет 0,24; 0,32; 0,40; 0,52; 0,63; $0,76 \text{ м}^2$ соответственно для прокладки одного, двух, трех, четырех, пяти и шести кабелей.

Нами установлено, что затраты на прокладку трехжильных (двух или трех) кабелей в земляной траншее больше соответствующих затрат на прокладку одной кабельной линии с одножильными кабелями в 1,32 и 1,66 раза (таблица 1).

Масса барабанов с кабелем, необходимых для сооружения линии длиной 1 км, будет равна:

- с трехжильным кабелем с жилами сечением 240 мм^2 9311,0 и 13710,0 кг соответственно с алюминиевыми и медными жилами;

- с одножильным кабелем с жилами сечением 1000 мм^2 18626,0 и 37565,0 кг соответственно с алюминиевыми и медными жилами.

Затраты труда на раскатку трехжильного кабеля (с учетом монтажа соединительных муфт, а также покрытие кирпичом траншей будут большими, чем затраты труда на раскатку трехжильных кабелей (таблица 1).

Таблица 1 – Соотношение затрат труда на прокладку трехжильных кабелей

Вид затрат	Относительные значения затрат при прокладке			
	двух кабелей с жилами		трех кабелей с жилами	
	алюминиевыми	медными	алюминиевыми	медными
1. Земляные работы	1,33	1,32	1,69	1,66
2. Доставка барабанов с кабелем на трассу	1,0	0,73	1,50	1,10
3. Раскатка кабеля и монтаж соединительных муфт	2,44	2,44	3,70	3,70
4. Покрытие траншей кирпичом или железобетонными плитами	1,47	1,47	1,94	1,94
Итого	6,24	5,96	8,83	8,40

Таким образом, если в относительных единицах суммарные затраты труда на прокладку одной линии с одножильными кабелями с жилами площадью поперечного сечения 1000 мм^2 длиной 1 км принять за единицу, то затраты труда на прокладку нескольких линий с трехжильными кабелями с жилами площадью поперечного сечения жил 240 мм^2 составят (таблица 1).

Сумма затрат труда на прокладку одножильных кабелей в относительных единицах равна 4.

Из таблицы 1 видно, что при прокладке одной кабельной линии с однофазными кабелями площадью поперечного сечения 1000 мм^2 снижаются затраты на прокладку примерно 1,5 раза (при необходимости прокладки двух трехфазных линий) или в 2,0 раза (при необходимости прокладки трех трехфазных линий с площадью поперечного сечения жил 240 мм^2).

Вывод

Значительного (до двух раз) снижения затрат на прокладку кабельных линий в земляных траншеях можно достичь при использовании одножильных кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена с токопроводящими жилами крупных (до 1200 мм^2) сечений.

Список использованных источников

1. Козлов, В.А. Электроснабжение городов / В.А. Козлов. Л.: Энергия, 1977. 280 с.
2. Короткевич, М.А. Эффективность применения кабелей напряжением 6-110 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена. Часть 1 / М.А. Короткевич.

вич, С.И. Подгайский, А.В. Голомуздов // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2017. Т. 60, № 5. С. 417-432.

3. Пантелеев, Е.Г. Монтаж и ремонт кабельных линий / Е.Г. Пантелеев. - М.: Энергоатомиздат, 1990. 288 с.

4. Кабели и провода. Каталог продукции. – Витебск: ПО «Энергокомплект», 2015. – 58 с.

Писарук Т.В, м.т.н.

Белорусский национальный технический университет, г. Минск
МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ДОСТОВЕРНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ
НАГРУЗКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ
ПРЕДПРИЯТИЙ

Контроль достоверности измерений нагрузки промышленных и сельскохозяйственных предприятий может быть выполнен методом предельных значений первых приращений нагрузки с использованием априорной информации о нижней и верхней границах, в которых могут находиться значения нагрузки предприятия в нормальных условиях эксплуатации. Достоверными можно считать результаты измерений, попадающие между этими границами.

Первое приращение за временной промежуток от t до $t-h$ представляет собой разность показаний измерений нагрузки $P(t)$ и $P(t-h)$, произведенные в соответствующие моменты времени с интервалом временной дискретизации равной h [1] определяется

$$\Delta P(t, t-h) = P(t) - P(t-h) \quad . \quad (1)$$

Границы принятия решения о достоверности первого приращения зависят от математического ожидания M и предельного допустимого отклонения от него Δ_p . Нижняя граница достоверности определяется из выражения

$$\gamma_1 = M - \Delta_p \quad . \quad (2)$$

Верхняя – аналогично

$$\gamma_2 = M + \Delta_p \quad . \quad (3)$$

Само условие достоверности выглядит следующим образом

$$\gamma_1 \leq \Delta P_\gamma(t) \leq \gamma_2 \quad , \quad (4)$$

где $\Delta P_\gamma(t)$ – значение экстраполированного первого приращения нагрузки, определяется из выражения

$$\Delta P_\gamma(t) = P(t) - P_\gamma(t) \quad , \quad (5)$$

где $P(t)$ – текущее значение нагрузки;

$P_\gamma(t)$ – экстраполированное в предыдущий момент времени значение нагрузки на текущий момент времени.

При небольших интервалах экстраполяции нагрузки предприятия, порядка нескольких минут, можно считать, что экстраполированное значение нагрузки на выходе фильтра определяется

$$P_3(t) = P(t-h) - k[P(t-h) - P(t-2h)]. \quad (6)$$

Границы принятия решения (нижняя γ_1 и верхняя γ_2) при контроле с линейной экстраполяцией определяются

$$\gamma_1 = M - \Delta_{p,\varepsilon} \quad \gamma_2 = M + \Delta_{p,\varepsilon}, \quad (7)$$

где $\Delta_{p,\varepsilon}$ – предельное допустимое экстраполированное значение первого приращения.

Точность экстраполяции нагрузки сильно снижается от перемены знака первого приращения при переходе от предыдущего $t-h$, $t-2h$ к последующему t , $t-h$ циклу контроля. Возникающая при этом погрешность может быть снижена при использовании фильтра переменной структуры, который определяется бинарным значением коэффициента при первом приращении. Принимается одно из двух значений согласно следующему правилу [1,2]

$$k = - \begin{cases} k_{\text{опт}}, & \text{если } \frac{p(t)-p(t-h)}{p(t-h)-p(t-2h)} \geq 0, \\ 0 & \text{если } \frac{p(t)-p(t-h)}{p(t-h)-p(t-2h)} < 0. \end{cases} \quad (8)$$

Рассмотрены участки графика рис.1 активной нагрузки моторного завода в дневные часы в будние дни недели. Интервал временной дискретизации графика составлял $h=3$ мин. На рис.2 представлены приращения нагрузки на этом участке графика.

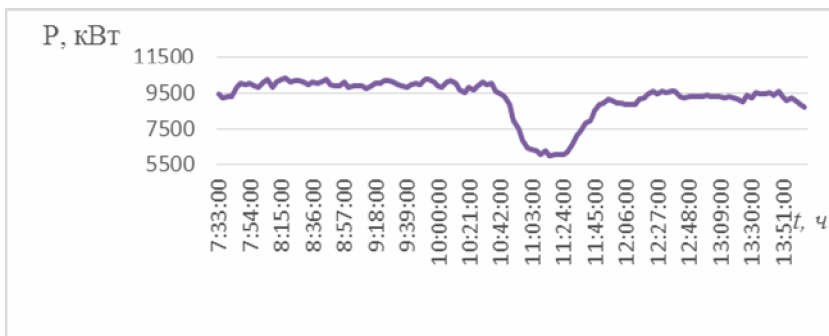


Рис. 1. Графики дневной нагрузки моторного завода

Границы принятия решения о достоверности измерений по первым приращениям нагрузки и их линейно и нелинейно экстраполированным значениям в зависимости от доверительной вероятности увеличивают свое значение.

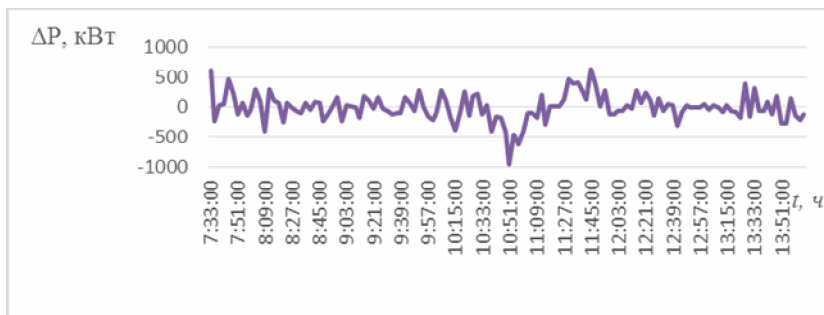


Рис. 2. Первые приращения нагрузки моторного завода в дневные часы

Сопоставление теоретических доверительных вероятностей ρ , которые определяют интерквантильные промежутки Δ_p между верхней и нижней границами достоверных результатов измерений, с фактическими доверительными вероятностями показало их достаточно близкое совпадение. Так при теоретическом значении $\rho=0,95$ при принятии решения о достоверности измерений по первым приращениям нагрузки фактическое значение доверительной вероятности составило $\rho_{\text{факт}}=0,97$ и их линейно и нелинейно экстраполированным значениям $\rho_{\text{факт}}=0,94$ и $\rho_{\text{факт}}=0,95$ соответственно.

Список использованных источников

1. Бэнн, Д.В. Сравнительные модели прогнозирования электрической нагрузки / Бэнн Д.В., Фармер Е.Д. Пер. с англ. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 200 с.
2. Анищенко, В.А. Контроль достоверности измерений в энергосистемах по первым приращениям и на основе экстраполирующих фильтров / В.А. Анищенко, Т.В. Писарук // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. Объединений СНГ. 2018. Т.61, №5. С. 423-431.

**Прищепов М.А., д.т.н., доцент, Зеленькевич А.И., ст. преподаватель,
Збродыга В.М., к.т.н., доцент,**

**УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь**

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ
ТРАНСФОРМАТОРОВ СО СХЕМАМИ СОЕДИНЕНИЯ ОБМОТОК
«ЗВЕЗДА-ДВОЙНОЙ ЗИГЗАГ С НУЛЕВЫМ ПРОВОДОМ» И
«ЗВЕЗДА-ЗИГЗАГ» ПРИ НЕСИММЕТРИЧНОЙ НАГРУЗКЕ**

Несимметрия электрических нагрузок вызывает несимметрию напряжений. При этом трехфазные электроприемники питаются несимметрич-

ным напряжением, а однофазные - оказываются под повышенным или пониженным напряжением. Отклонение напряжения у электроприемников перегруженной фазы может превысить допустимое ГОСТ 32144-2013 значение.

Уменьшить несимметрию напряжений можно применением специальных корректирующих устройств. В системах электроснабжения сельскохозяйственных потребителей авторы рассматривают возможность использования для этого трансформаторов со схемой соединения обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом» ($Y/2Z_n$) [1].

Целью исследований является экспериментальное подтверждение способности «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом» обеспечивать наиболее высокий уровень симметрии напряжений на его выводах, по сравнению с другими схемами, при несимметричном характере нагрузки. Для сравнительной оценки взята рекомендованная к применению в сельских электросетях и наиболее близкая по конструкции схема «звезда-зигзаг» (Y/Z_n). Были исследованы следующие режимы нагрузки:

1. Ток в одной из фаз изменялся в пределах от 0 до $1,2 I_n$, а в двух других фазах был равен номинальному I_n .
2. Ток в одной из фаз изменялся в пределах от 0 до $1,2 I_n$, в другой фазе был равен нулю, в третьей фазе был равен номинальному I_n .
3. Ток в одной из фаз изменялся в пределах от 0 до $1,2 I_n$, а в двух других фазах был равен нулю.

В указанных режимах работы измерялись линейные и фазные напряжения трансформаторов высшей и низшей сторон, токи низшей стороны, коэффициенты несимметрии напряжений по обратной и нулевой последовательности.

Напряжения первичной стороны у трансформатора со схемой соединения обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом» сохраняют симметрию при несимметричной нагрузке трансформатора. Для определения влияния величины несимметрии нагрузки на искажение симметрии вторичных напряжений проведены исследования зависимости коэффициентов несимметрии напряжений вторичной стороны от токов нагрузки для принятых режимов, для каждой из исследованных схем соответственно. По этим данным построены графики, приведённые на рисунках 1 и 2, из которых видно, что рост несимметрии нагрузки вызывает увеличение коэффициентов несимметрии напряжений.

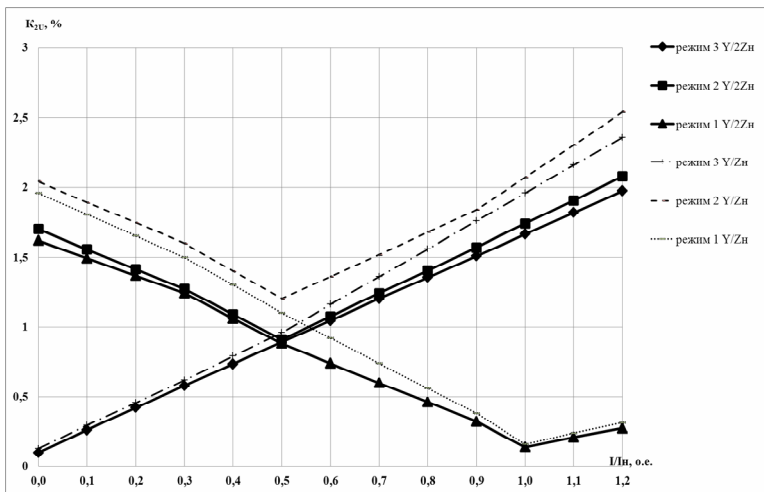


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента несимметрии напряжений по обратной последовательности от тока нагрузки

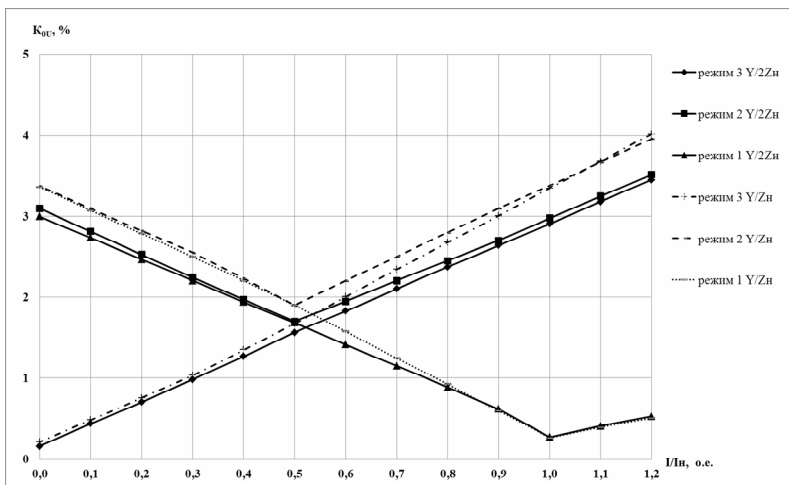


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента несимметрии напряжений по нулевой последовательности от тока нагрузки

Экспериментальные исследования подтвердили теоретические выводы, что трансформатор «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом» обеспечивает более высокий уровень симметрии вторичных напряжений при несимметрии нагрузки по сравнению с трансформатор «звезда-зигзаг с нулевым проводом»

Список использованных источников

1. Прищепов, М.А. Работа трансформатора со схемой соединения обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом» при несимметричной нагрузке / М.А. Прищепов, В.М. Збродыга, А.И. Зеленкевич // Агропано-рама. – 2018. – № 6. – С. 25-31.

**Протосовицкий И.В., к.т.н., доцент, Протосовицкий Д.И.
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь**

КОММУТАЦИОННЫЕ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ В ТРАНСФОРМАТОРАХ ПРИ НЕСИММЕТРИЧНЫХ РЕЖИМАХ

Значительная часть силовых трансформаторов, установленных в сельских сетях 0,4-10 кВ, находится под воздействием большого количества негативных факторов от внутрисетевых до окружающей среды, которые негативно сказываются на сроках эксплуатации.

Значительный ущерб силовым трансформаторам и подключенным к ним потребителям наносят перенапряжения, обусловленные коммутационными перенапряжениями, возникающими в сетях или атмосферными явлениями. Достигающие выводов трансформаторов перенапряжения могут быть ограничены большим количеством устройств защиты, находящимися вне трансформатора. Гораздо сложнее организовать устройство защиты от перенапряжений, возникающих внутри трансформатора при распределении электромагнитной волны вдоль обмотки, при этом напряжения между отдельными витками обмоток могут значительно превысить напряжения установившегося режима. Пробой изоляции влечет за собой выход трансформатора из строя и нарушение нормальных условий эксплуатации данной установки. При этом процессы, происходящие в трансформаторе при перенапряжениях, являются случайными и в полном объеме не поддаются математическому анализу.

Часто оборудование выходит из строя с некоторой задержкой, так как вызванное незначительными переходными процессами старение изоляции происходит постепенно. Это связано с тем, что со временем дефекты в изоляции развиваются достаточно быстро, снижая ее электрическую прочность до столь низкой величины, что пробой может наступить в режиме нормальной эксплуатации или при перенапряжениях, незначительно превышающих рабочее напряжение что, впоследствии, приводит к её частым повреждениям, длительным простоям оборудования и значительному экономическому ущербу.

Очевидно, что данные проблемы наиболее характерны для трансформаторов длительно находящихся в эксплуатации. Поэтому важно не только обеспечить надежную защиту изоляции трансформаторов, но и обеспечить условия для сохранения изоляцией своих электрических характеристик на относительно высоком уровне в течение всего расчетного срока службы, учитывая при этом воздействия перенапряжений и других негативных факторов.

В большом количестве публикаций подробно рассмотрены процессы, происходящие в обмотках трансформатора во время переходных процессов и определены факторы оказывающие наибольшее влияние: схема соединения обмоток трансформатора, режим заземления нейтрали, количество фаз, на которые приходится волна перенапряжения, конструкции обмоток[1].

При этом не рассматривается вопрос влияния симметрирующей обмотки в трансформаторах марки ТМГСу (получившей широкое распространение в сетях 0,4-10 кВ в Республике Беларусь) на параметры перенапряжения в обмотках низкого напряжения (обмотках НН). Поэтому целью данного исследования являлось изучение данного вопроса с целью определения предпочтительной схемы соединения обмоток трансформатора с низкой стороны для минимизации воздействия коммутационных перенапряжений на изоляцию трансформаторов.

В работе представлены результаты экспериментальных исследований влияния симметрирующей обмотки на примере трехфазного трансформатора малой мощности. Задачей эксперимента являлось определение степени её влияния на параметры перенапряжений в фазных обмотках низкого напряжения.

В экспериментах использована физическая модель трехфазного трансформатора 400/230 В мощностью 0,63 кВА., Первичные обмотки испытуемого трехфазного трансформатора подключены к сети трехфазного синусоидального напряжения с линейным напряжением 230В.

При статистической обработке данных для оценки влияния симметрирующей обмотки на параметры перенапряжения в качестве основных критериев использовалось сравнение средних значений и дисперсий.

Для иллюстрации влияния симметрирующей обмотки на рисунке 1 приведены сопоставления амплитуд импульсов перенапряжений при коммутации трансформатора с симметрирующей обмоткой и без неё на нагрузку разной степени несимметрии.

Из приведенных графиков амплитуд импульсов перенапряжений следует, что при включении трансформатора на несимметричную нагрузку, в трансформаторе с симметрирующей обмоткой наблюдается снижение амплитуд импульсов перенапряжений на входных зажимах трансформатора относительно земли и более равномерное распределение напряжения по фазным обмоткам низкого напряжения, что снижает негативное влияние

коммутационных перенапряжений как на продольную, так и на поперечную изоляцию.

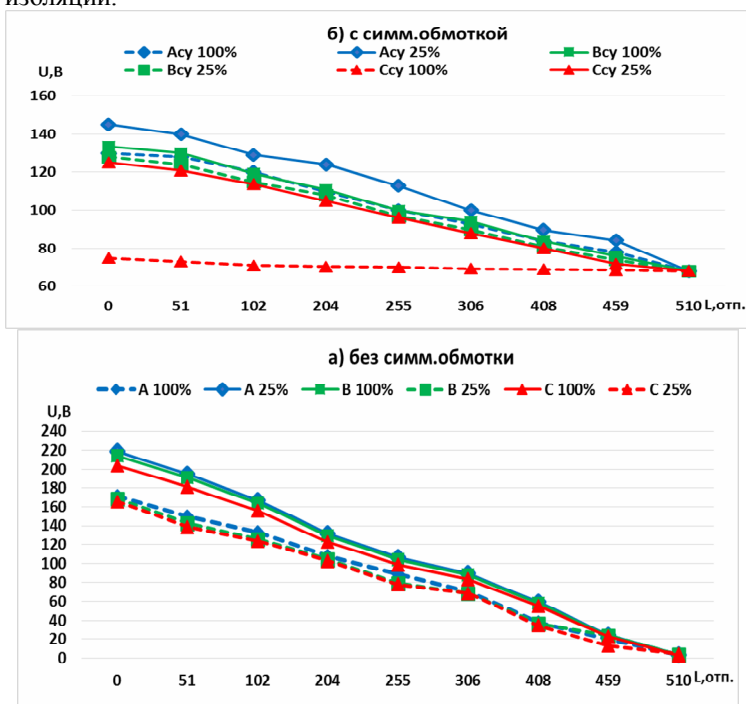


Рисунок 1. Амплитуды импульсов перенапряжений трансформатора при подключении нагрузки с несимметрией в 25% и 100%.

Вывод:

1. В трансформаторе без симметрирующей обмотки максимальная амплитуда импульсов перенапряжений в фазных обмотках зависит от величины несимметрии нагрузки.
2. В испытуемом трансформаторе в ходе эксперимента разность между амплитудами импульса перенапряжения с симметрирующей обмоткой и без неё на входных зажимах обмотки низкого напряжения в зависимости от степени несимметрии составила от 25% до 36%.

Список использованных источников

1. Астафьева, О.В. Исследование перенапряжений и разработка системы защиты от них в сетях среднего и высокого классов напряжения металлургических заводов и комбинатов : диссертация ... кандидата технических наук : 05.14.12: защищена 25.05.2007: утверждена 11.10.2007/Халилов Фирудип Халилович. – Спб., 2007 – 224 с. – Библиогр.: с. 93–110. – 003069650.

Русан В.И. д.т.н., профессор, Булко М.И., ст. преподаватель
Белорусский государственный аграрный технический университет,
г. Минск

ЭФФЕКТИВНОЕ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ АПК БЕЛАРУСИ

В 2015 г. Генеральная Ассамблея ООН приняла резолюцию по устойчивому развитию государств в Мире на период до 2030 г. В данной резолюции обоснована новая ориентированная в будущее концепция глобального устройства и гармоничного развития государств и общества на основе трех взаимосвязанных и взаимообусловленных компонентов экономики, социальной сферы и экологии.

В соответствии с этой концепцией разработана концепция и цели национальной стратегии устойчивого развития Республики Беларусь на период до 2035 г. Одна из целей предусматривает обеспечение всеобщего доступа к недорогим, надежным, устойчивым и современным источникам энергии для всех. Реализация данной цели возможна на основе обеспечения энергетической экологической и экономической безопасности. Основные направления обеспечения этих положений следующие:

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

Энергетическую безопасность любого государства в мире можно обеспечить за счет следующих основных факторов:

1. Энергетическая независимость, которая характеризуется долей собственных энергоресурсов в общем энергопотреблении государства.
2. Диверсификация энергоресурсов и их поставок.
3. Надежность энергообеспечения потребителей.
4. Энергоэффективность экономики государства.

Изложенные положения являются основополагающими при решении проблем эффективного энергообеспечения устойчивого развития АПК Беларуси.

Эффективное энергообеспечение АПК направлено на

- реконструкцию и модернизацию действующих, строительство электросетевой структуры на основе Smart Grid и инновационных энергоэффективных технологий;
- снижение зависимости от углеводородных топлив, использование местных энергоресурсов, отходов и возобновляемых источников энергии для энергообеспечения секторов экономики, а также на активное использование технологий энергосбережения;
- внедрение распределенных систем энергоснабжения предприятий на базе небольших локальных электростанций по технологиям когенерации и тригенерации для повышения надежности энергоснабжения потреби-

лей, уменьшения технической и экономической зависимости от внешних систем и роста цен на энергоносители на макроэкономическом уровне;

Распределенное производство электроэнергии на основе ВИЭ имеет ряд преимуществ перед централизованным: повышается надежность электроснабжения объектов, снижаются потери в сетях и перетоки реактивной мощности, исключается необходимость реконструкции и строительства электросетевой инфраструктуры (воздушных и кабельных ЛЭП, распределительных и трансформаторных подстанций и др.).

При этом, производство электроэнергии за счет использования ВИЭ увеличивает долю электроэнергии в общем потреблении энергии, что в свою очередь является одним из основных мероприятий повышения энергоэффективности экономики. Следует отметить, что разнообразие ВИЭ способствует диверсификации использования энергоресурсов.

- многообразие и диверсификацию энергетических схем и видов используемых топлив, инвестиционных бизнес-моделей, инструментов взаимодействия производителей энергии и бытовых структур, позволяющих увеличить конкуренцию за потребителя в условиях насыщенного рынка;

- трансформацию традиционных систем в интеллектуальные энергосистемы на уровне генерации, распределения, потребления, собственного децентрализованного производства, благодаря внедрению интернета, инновационным информационным технологиям, высокотехнологичной автоматизации силовой электроники, возможностей накопления и хранения энергии на базе инновационных аккумуляторов.

В АПК основными направлениями эффективного энергообеспечения являются использование гелиоустановок для интенсификации процессов сушки продукции и подогрева воды в сельскохозяйственном производстве;

строительство локальных биогазовых комплексов в сельскохозяйственных организациях, занимающихся разведением крупного рогатого скота, свиней и птицы;

модернизация животноводческих и птицеводческих комплексов с переходом на новые энергосберегающие технологии;

внедрение энергоэффективных зерносушильных установок, в том числе на местных видах топлива;

модернизация систем отопления производственных помещений с использованием энергоэффективных технологий, замены устаревшего отопительного оборудования на современное энергосберегающее.

Производство электрической и тепловой энергии с использованием ВИЭ необходимо осуществлять на основе

- сооружения новых гидроэлектростанций;

- внедрения фотоэлектрических станций;

- увеличения использования гелиоводонагревателей и различных гелиоустановок для интенсификации процессов сушки продукции и подогрева воды в сельскохозяйственном производстве и для бытовых целей;

- ввода в эксплуатацию ветроэнергетических установок;

В ЖКХ перспективными представляются следующие направления:
повышение эффективности работы действующих энергетических мощностей на основе использования инновационных и энергоэффективных технологий с поэтапным выводом из эксплуатации устаревшего оборудования;

снижение потерь энергии в тепловых сетях к 2030 году до уровня 10 процентов за счет ежегодной замены тепловых сетей, находящихся на балансе организаций ЖКХ в объеме не менее 4 процентов от их протяженности, оптимизации схем теплоснабжения населенных пунктов с ликвидацией неэффективных теплоисточников или децентрализацией систем теплоснабжения;

оснащение многоквартирных жилых домов (от 8 квартир и более) приборами учета и системами автоматического регулирования тепловой энергии, исходя из технической и экономической целесообразности;

внедрение энергоэкономичных осветительных устройств и автоматических систем управления освещением;

оптимизация режимов водоснабжения населенных пунктов в целях снижения потребления электроэнергии;

увеличение термосопротивления ограждающих конструкций эксплуатируемых жилых зданий;

дальнейшее вовлечение населения в процесс энергосбережения и повышения эффективности использования ТЭР в жилом комплексе;

развитие систем теплоснабжения населенных пунктов, в том числе строительство локальных теплоисточников, на основании утвержденных в установленном законодательством порядке схем теплоснабжения.

Для реализации изложенных положений необходимо разработать концепцию и государственную программу инновационного энергообеспечения АПК на период до 2030 г. Комплексный подход в энергообеспечении АПК будет способствовать дальнейшему развитию АПК и внесет существенный вклад в повышение энергетической, экономической и экологической безопасности страны.

Селицкая О.Ю., ст. преподаватель
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь
ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ СЕЛЬСКИХ
РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Эксплуатируемые в настоящее время распределительные сельские электрические сети 0,4 и 10 кВ с учетом долговременности их работы (наличие физического и морального износа), большой протяженности и разветвленности, не всегда обеспечивают требуемые показатели качества

электрической энергии (согласно ГОСТ 32114-2013), имеют значительный уровень потерь электроэнергии (в частности, технических - за низкой пропускной способности и коммерческих - за счет несовершенной системы учета потребления электроэнергии), а также обладают низким уровнем надежности электроснабжения потребителей. Вследствие этого на систему таких сетей приходится наибольшее число регистрируемых отказов и нарушений в их режимах работы, что приводит к недоотпуску электроэнергии потребителям, и как следствие - к наличию технологического и электромагнитного ущербов.

Как правило, сельские распределительные электрические сети, в отличие от городских, не имеют разделения на узловое участки нагрузки и в случае повреждения происходит обесточивание всей линии и отключение всех присоединенных к ней потребителей. Чтобы избежать такой негативной ситуации в сетях 10 кВ применяют установку разъединителей, секционирование и резервирование сетей с использованием устройства с управляемым выключателем (реклоузера). Однако как наиболее перспективное и надежное решение для обеспечения надежности электроснабжения необходимо рассматривать автоматизированную систему управления распределительными сетями.

Согласно «Концепции перспективного развития распределительных электрических сетей напряжением 0,4-10 кВ Белорусской энергосистемы на ближайшую перспективу» [1], утвержденной 10.11.2014 г. к одной из основных проблем распределительного электросетевого комплекса, влияющих на надежность электроснабжения, относится низкий уровень автоматизации электрических сетей.

Как известно, к основным средствам автоматизации относятся устройства автоматического повторного включения (АПВ), автоматические секционирующие аппараты, устройства автоматического ввода резервного питания (АВР).

В настоящее время при проектировании распределительных сетей или при техническом перевооружении существующих, все чаще можно встретить такое понятие как «интеллектуальные электрические сети», или «smart grid», под которыми понимается интегрированная, безопасная и надежная электроэнергетическая система, охватывающая генерацию, транспортировку, распределение и конечное потребление электрической энергии, эффективность которой обеспечивается оперативным учетом данных по энергопотреблению и основывается на применении передовых средств мониторинга, коммуникации, анализа и динамического управления. Но «smart grid» нельзя понимать как автоматизированную систему в «чистом» виде. Здесь суть гораздо шире и применение автоматизации между компонентами «smart grid» лишь часть их бесперебойного и надежного взаимовлияющего функционирования.

Рациональным путем снижения затрат на эксплуатацию электрических сетей является использование интегрированных автоматизированных систем управления или ИАСУ, которые имеют возможность решать пошагово целый комплекс различных технических задач по обеспечению автоматизации определенной системы. И здесь для нормального комплексного функционирования необходимо учитывать, что каждая из таких систем решает свой определенный набор функциональных задач и в тоже время автоматически обменивается информацией о результатах своего состояния и функционирования с другими системами, для которых эта информация является основой для выполнения своих специфических функций. Для нормального обеспечения автоматизации необходимо иметь полное достоверное информационное обеспечение, под которым понимается комплекс, состоящий из трех видов информации: *статичной* (паспортная информация об объектах электрических сетей, их характеристики и т.д.), *динамичной* (данные о нагрузках потребителей, сведения о месторасположении коммутационных аппаратов и т.д.) и *модель сети* (математическое описание сети, базирующееся на статичных и динамических данных) [2]. С учетом того, что сама система является гибким динамическим объектом, с постоянно изменяющимися во времени параметрами, модель сети является ядром в решении задач для обеспечения автоматизации. Оптимальный вариант структурной схемы автоматизированной системы диспетчерского управления с автоматическим формированием модели сети, разработанный сотрудниками Молодечненского РЭС, приведен на рисунке 1 [2].



Рисунок 1 – Структурная схема автоматизированной системы диспетчерского управления с автоматическим формированием модели сети

Список использованных источников

1. Концепция перспективного развития распределительных электрических сетей напряжением 0,4-10 кВ Белорусской энергосистемы на ближайшую перспективу: утв. Белэнерго, 10.11.2014 г. – Минск : Белэнерго, 2014.–25 с.
2. Пошаговая автоматизация распределительных электрических сетей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://est35.ru/assets/files/Statya_1.pdf. - Дата доступа: 18.11.2019.

Стелькин Ф.В. м.т.н., аспирант

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОТЕКАНИЯ ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ В КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЯХ С БУМАЖНО-МАСЛЯНОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ

Под действием высокой напряженности электрического поля в изоляции, в местах пониженной электрической прочности возникают частичные разряды, которые представляют собой пробой газовых включений или местные разряды по поверхности твердого диэлектрика.

В кабелях с бумажно-масляной изоляцией ионизационные процессы развиваются в воздушных включениях, образующихся за счет неплотной намотки слоев бумаги или их смятия при опрессовке.

Принимаем схему замещения изоляции кабельной линии с порой из [1, стр. 8]:

Количество частичных разрядов при частоте 50 Гц и напряжении погасания равным нулю, определяется по формуле:

$$nz = \frac{200 \times (U_m - U_{н.и})}{U_{н.и}} = \frac{200 \times U_m}{U_{н.и}} - 1, \quad (1)$$

где U_m —напряжение на емкости включения;

$U_{н.и}$ —напряжения начала ионизации, равная 300 В.

Значение мощности частичных разрядов зависит от энергии емкости включения и определяется по формуле :

$$P_{чр} = W_{чр} \times nz = \frac{C_v \times U_m^2}{2} \times nz, \quad (2)$$

где $W_{чр}$ — энергия емкости включения, Дж;

C_v — емкость включения, пФ;

nz — число частичных разрядов.

По значению мощности частичных разрядов возможна последующая оценка опасности их воздействия на изоляцию кабельных линий.

На основании схемы замещения, принятой из [1], составим модель процесса протекания частичных разрядов в программе Electronic Workbench.

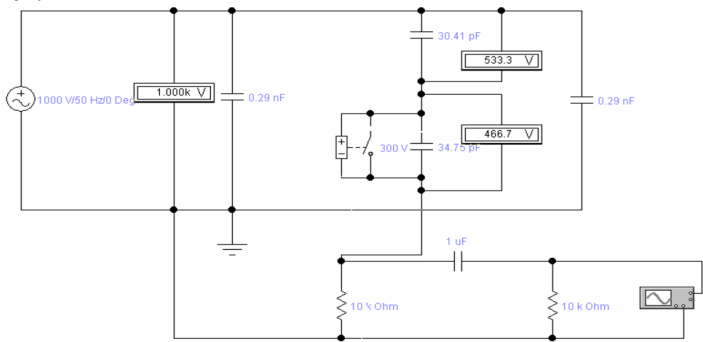


Рисунок 1-Имитационная модель процесса протекания частичных разрядов

Как видно из рисунка 1, появление частичных разрядов наступает при шунтировании ключом емкости включения C_B , что приводит к увеличению эквивалентной емкости изоляции диэлектрика.

На основании формулы 1 при напряжении источника питания 1000 В и напряжении на емкости включения 466,7 В, количество частичных разрядов $nз$ будет равно:

$$nз = \frac{200 \times (466,7 - 300)}{300} = 108,667$$

Количество частичных разрядов при напряжении источника в диапазоне 2000÷5000 В, а также при увеличении емкости включения на 50 % представим на рисунке 2:

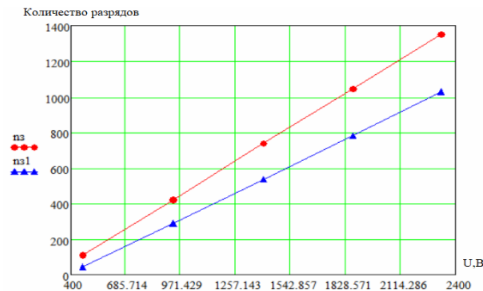


Рисунок 2 – Зависимость количества частичных разрядов от приложенного напряжения

Зависимость значение мощности на емкости включения, от приложенного напряжения, определенная по формуле (2), представлена на рисунке 3:



Рисунок 3 – Зависимость мощности частичных разрядов от приложенного напряжения

При количестве частичных разрядов 1000 в секунду мощность разрядов составляет 0,06 Вт, что свидетельствует о наличии дефектов в изоляции.

Список использованных источников

1. Кучинский Г.С. Частичные разряды в высоковольтных конструкциях. – Л: Энергия, 1979. – 223 с.
2. Короткевич М.А. Основы эксплуатации электрических сетей: – Учеб. пособие. – Мн: Выш. шк., 1999. .267 с.: ил.

Счастный В.П., к.т.н., доцент,
Белорусский национальный технический университет, Минск,
Республика Беларусь

Зеленькевич А.И., ст. преподаватель,
УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь

УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЕМ ДВУХТРАНСФОРМАТОРНОЙ ПОДСТАНЦИИ ПРИ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РАБОТЕ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Ключевые слова: трансформаторная подстанция, компенсация реактивной мощности, параллельная работа трансформаторов.

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы управления оборудованием двухтрансформаторной подстанцией при параллельной работе трансформаторов.

Уменьшение потерь, повышение качества электроэнергии и надежности электроснабжения, управление оборудованием трансформаторной подстанции, принудительное изменение режима работы оборудования по-

требительской трансформаторной подстанции - важная задача по повышению экономичности систем электроснабжения потребителей. В значительной степени данную проблему можно решить за счет применения устройства управления оборудованием потребительской подстанции, разработанного авторами [1]. В предложенном устройстве обеспечена возможность регулирования уровня напряжения, компенсации реактивной мощности и поддержания управляющих связей с более высокими уровнями энергосистемы.

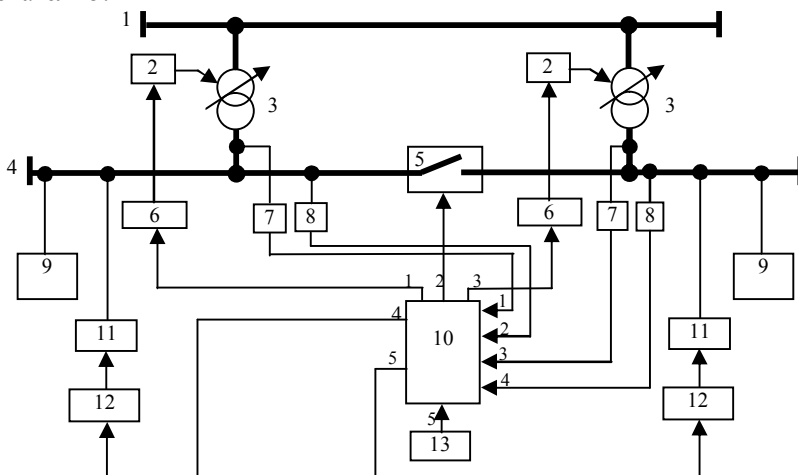
Для питания крупных промышленных объектов на подстанции устанавливаются 2-4 силовых трансформатора. Параллельная работа нескольких менее мощных трансформаторов имеет технические и экономические преимущества по сравнению с работой одного мощного трансформатора: повышается надежность электроснабжения потребителей; повышается величина используемой мощности трансформаторов; появляется возможность отключения одного из трансформаторов в режиме малых нагрузок; снижаются единовременных капиталовложений при увеличении мощности подстанции. При включении на параллельную работу трансформаторов необходимо учитывать ряд условий: трансформаторы должны иметь одни и те же группы соединения обмоток, должна быть выполнена фазировка, а также, в идеале, одинаковыми должны быть напряжения короткого замыкания, коэффициенты трансформации и номинальные мощности.

Для обеспечения возможности регулирования напряжения в отходящих линиях трансформаторы снабжаются устройствами РПН. Для осуществления параллельного регулирования напряжения устройствами РПН используются три метода: ведущего-ведомого трансформаторов; обратного реактивного сопротивления; циркулирующего тока.

Схема устройства управления оборудованием двухтрансформаторной подстанции представлена на рисунке. Работает устройство следующим образом. *При раздельной работе* трансформаторов сигналы с датчиков 7 тока и 8 напряжения, пропорциональные мгновенным значениям тока и напряжения на каждой из секций шин 4 питания потребителей 9, поступают на входы 1 и 2, 3 и 4, соответственно, регулятора 10. На пятый вход регулятора 10, при необходимости принудительного управления оборудованием трансформаторной подстанции, подается сигнал с блока 13 обеспечивающего управляющую связь с более высоким уровнем энергосистемы. Сигнал реактивной мощности поступает с 4 и 5 выходов регулятора 10 на входы блоков 12 коммутации, которые управляют регулируемыми источниками 11 реактивной мощности. Регулируемые источники 11 реактивной мощности, в соответствии с характером управляющего сигнала поступающего с блоков 12 коммутации, генерирует в сеть реактивную мощность, соответствующую величине реактивной мощности потреби-

лей 9, улучшая тем самым коэффициент мощности узла нагрузки в целом и увеличивая напряжение на секциях шин 4 питания потребителей 9. Сигнал пропорциональный напряжению на шинах 4 питания потребителей 9 с первого и третьего выходов регулятора 10 через блоки 6 управления поступает на устройство 2 регулирования напряжения под нагрузкой, которые изменением коэффициента трансформации понизительных трансформаторов 3 регулируют напряжение на секциях шин 4 питания потребителей 9.

При параллельной работе трансформаторов перед включением секционного 5 выключателя регулятор 10 посредством датчиков напряжения 8 определяет величину напряжения на каждой секции шин 4 питания потребителей. При одинаковой величине напряжения на секциях шин поступает команда со второго выхода регулятора на включение секционного выключателя 5. При разных величинах напряжения на секциях шин посредством устройств 2 РПН и источников реактивной мощности 11 происходит выравнивание напряжения, а затем включается секционный выключатель 5.



1 - шины высокого напряжения (энергосистема); 2 - устройство регулирования напряжения под нагрузкой (РПН); 3 - понизительный трансформатор; 4 - шины питания; 5 - секционный выключатель; 6 - блок управления; 7 - датчик тока; 8 - датчик напряжения; 9 - потребители; 10 - регулятор; 11 - регулируемый источник реактивной мощности; 12 - блок коммутации; 13 - блок обеспечивающий управляющую связь с более высоким уровнем энергосистемы.

Рисунок. Схема устройства управления оборудованием двухтрансформаторной подстанции

Использование предложенного устройства для управления оборудованием трансформаторной подстанции, позволяет уменьшить потери, повысить качество электроэнергии и надежность за счет оптимального регулирования напряжения в электрической сети, компенсации реактивной мощности потребителей, принудительного изменения режима работы оборудования трансформаторной подстанции, расширить диапазон регулирования напряжения.

Список использованных источников

1. Патент №4613 Устройство для управления оборудованием потребительской трансформаторной подстанции / В.П. Счастный, А.И. Зеленькевич; заявитель Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет» - заявл. 2008.14.01; опубл. 30.08.2008 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2008.

Фарино А.А., м.т.н., аспирант

УО «Белорусский национальный технический университет»,

г. Минск, РБ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УЧАСТКА ОДНОФАЗНОГО ПОВРЕЖДЕНИЯ НА ВЛ (ВЛП)-10 КВ БЕЗ ЗАМЫКАНИЯ НА «ЗЕМЛЮ»

Однофазные повреждения на воздушных электрических линиях напряжением 10 кВ без замыкания на «землю» происходят периодически в летние и зимние штормовые периоды, а так же при срабатывании автоматики повторного включения (АПВ) при наличии междуфазных коротких замыканий на проводах ВЛ. Как правило, «слабым местом», данного вида повреждений, является связующий «шлейф» однофазного провода на сложных опорах 10 кВ с подвесной изоляцией. На практике данный вид повреждения влечёт за собой несимметрию напряжения как в сети 10 кВ, так и в сети 0,4 кВ. Величина несимметрии напряжения в данном случае зависят от нагрузки потребителей. Для наглядности покажем усреднённые значения несимметричных напряжений по стороне 0,4 кВ с обрыв провода на фазе С по стороне 10 кВ:

- $U_{a0} = 240-260$ В; - $U_{ав} = 390-400$ В (усреднённые значения).
- $U_{b0} = 140-160$ В; - $U_{bc} = 340-360$ В (усреднённые значения).
- $U_{c0} = 40- 90$ В; - $U_{ca} = 140-160$ В (усреднённые значения).

Полученная несимметрия напряжений является неоспоримым фактором нарушения качества и надёжности электроснабжения потребителей:

- электроприемники с симметричной нагрузкой не запускаются;
- включённые ранее асинхронные двигатели работают неустойчиво;

- не работают бытовые и осветительные приборы на повреждённой фазе.

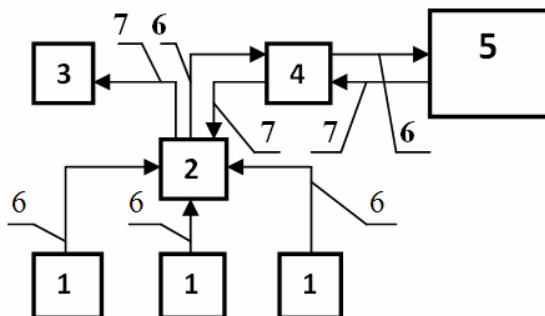
Проблема отыскания места повреждения усугубляется тем, что аппараты защит и сигнализации, установленные на питающих подстанциях, данный вид повреждений не чувствуют, а время отыскания места обрыва провода составляет 3–4 часа.

В современных распределительных сетях, оснащенных устройствами телеметрии, на базе измерительных преобразователей напряжений, установленных пофазно на стороне 0,4 кВ в каждой подстанции, предлагается в программном обеспечении автоматизированного рабочего места диспетчера РЭС создать дополнительную функцию, позволяющую учитывать сумму всех фазных напряжений по заданным параметрам величин вставок согласно формулы: $300V \leq U_{\Sigma} \leq 500V$.

При условии выполнения указанной формулы суммарных фазных напряжений, переданных устройствами телеметрии по каналам связи с одного, или ряда ТП, программа диспетчера РЭС за секунды формирует сигнал «Аварийная несимметрия напряжения», отображая участок повреждения на «мнемосхеме» сети с обрывом фазного провода без замыкания на «землю».

Данный способ позволяет минимизировать время поиска повреждённого участка электрической сети, повысить качество и надёжность электроснабжения потребителей.

Повреждённый участок ВЛ 10 кВ за время переключений по ТУ можно локализовать путём переноса «точек разрывов» сети, а питание потребителей обеспечить по «резервным» линиям связи.



1 - измерительные преобразователи напряжения; 2 - контроллер; 3 - вакуумный выключатель; 4 - GSM модем; 5 - автоматизированное рабочее место диспетчера РЭС; 6 - канал телеизмерений; 7 - канал телеуправления.

Рис.1 Блок-схема передачи данных «ТП – диспетчер РЭС».

Список использованных источников

1. Поспелов Г.Е., Федин В.Т., Лычев П.В. Электрические системы и сети: Учебник. – Минск: УП «Технопринт», 2004. – 720 с.
2. Идельчик В.И. Расчеты и оптимизация режимов электрических сетей и систем. – М.: Энергоиздат, 1988. – 288 с.
3. Герасименко А.А., Федин В.Т. Передача и распределение электрической энергии. – Ростов-н/Д.: Феникс; Красноярск: Издательские проекты, 2006. – 720 с.
4. Мельников Н.А., Рокотян С.С., Шеренцис А.Н. Проектирование электрической части воздушных линий электропередачи 330-500 кВ. Изд 2-е, перераб. и доп. – М.: «Энергия», 1974. – 472 с.
5. Рожкова Л.Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций: Учебник для техникумов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 648 с.

**Фурсанов М. И. д.т.н., профессор, Секацкий Д.А., аспирант
Белорусский национальный технический университет, г. Минск,
Республика Беларусь**

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОРМАТИВНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАСХОДА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ НА ПРОГНОЗИРУЕМЫЙ ПЕРИОД

В соответствии с инструкцией [1] руководители энергоснабжающих организаций и их структурных подразделений несут персональную ответственность за обоснованность, качество исполнения и своевременное предоставление суммарной величины нормативных потерь $\Delta W_{\text{норм}}^{\text{пр}}$, которые определяются следующим образом:

$$\Delta W_{\text{норм}}^{\text{пр}} = \Delta W_{\text{уп}}^{\text{пр}} + \Delta W_{\text{к}}^{\text{пр}} + \Delta W_{\text{н}}^{\text{пр}} + \Delta W_{\text{дп}}^{\text{пр}} + \Delta W_{\text{сн}}^{\text{пр}} + \Delta W_{\text{сез}}^{\text{пр}}, \quad (1)$$

где $\Delta W_{\text{уп}}^{\text{пр}}$, $\Delta W_{\text{к}}^{\text{пр}}$, $\Delta W_{\text{н}}^{\text{пр}}$, $\Delta W_{\text{дп}}^{\text{пр}}$, $\Delta W_{\text{сн}}^{\text{пр}}$, $\Delta W_{\text{сез}}^{\text{пр}}$ – прогнозные значения нормативных потерь энергии в электрических сетях соответственно: условно-постоянных потерь $\Delta W_{\text{уп}}^{\text{пр}}$, климатических потерь $\Delta W_{\text{к}}^{\text{пр}}$, на грузочных потерь $\Delta W_{\text{н}}^{\text{пр}}$, потерь на собственные нужды подстанций $\Delta W_{\text{сн}}^{\text{пр}}$, обусловленных допустимыми погрешностями систем учёта электроэнергии $\Delta W_{\text{дп}}^{\text{пр}}$ и сезонной составляющей $\Delta W_{\text{сез}}^{\text{пр}}$, тыс. кВт·ч.

Оперативное планирование и эффективное управление режимами функционирования ЭЭС невозможны без достоверного прогноза нагрузки в узлах расчетной схемы, проводимого с упреждением от нескольких минут до нескольких суток, поэтому были рассмотрены временные периоды прогноза на примере реальных данных.

Определение прогнозируемых нагрузок проводился на основе математической модели нейронной сети. В частности, использовался пакет MATLAB Neural Networks Toolbox, предоставляющий доступ к работе с нейронными сетями.

В качестве исходной информации использовались ретроспективные данные о телеизмерениях, по которым рассчитывались прогнозируемые нагрузки в узлах, которые, в свою очередь, сравнивались с настоящими графиками нагрузки.

В результате работы нейросетевой модели прогнозирования узловых нагрузок с использованием информации об этих узловых нагрузках на головном участке распределительной сети ПС «Березинская» были получены данные нагрузках, которые в дальнейшем возможно использовать для обработки и уточнения расчетных данных нормативного определения технологического расхода энергии на прогнозируемые период.

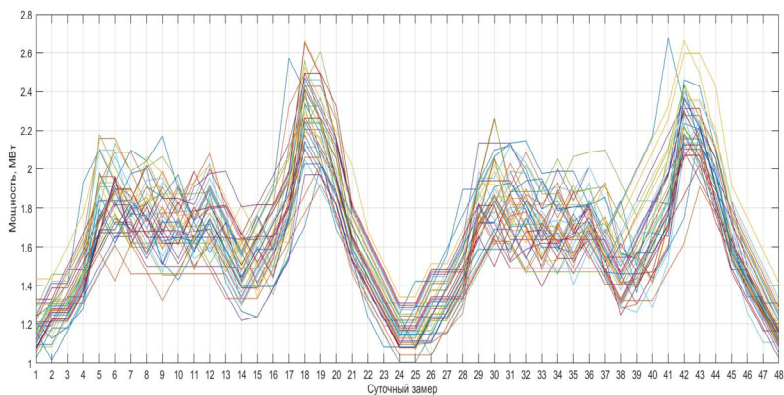


Рисунок 1 – График нагрузки электрической сети на ПС «Березинская»

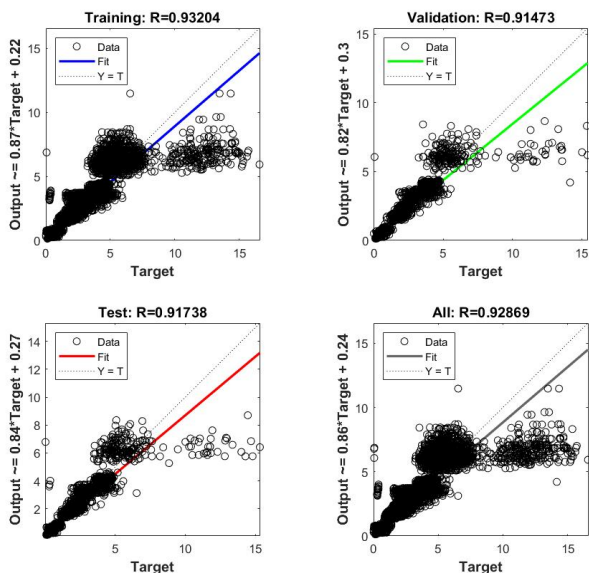


Рисунок 2 – Регрессия обучения модели по данным нагрузки ЭС

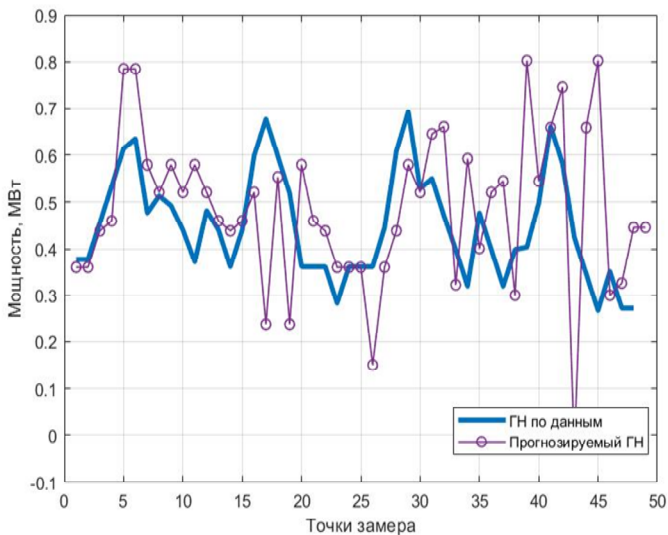


Рисунок 3 – Сравнительные значения данных прогнозируемого и реального графиков нагрузок ЭС на ПС «Березинская»

Список использованных источников

1. Положение по нормированию расхода топливно-энергетических ресурсов на предприятиях, в учреждениях и организациях государственного производственного объединения ГПО «Белэнерго». Инструкция по расчету и обоснованию нормативов расхода электроэнергии на ее передачу по электрическим сетям Постановление Министерства энергетики Республики Беларусь от 16.12.13 г. № 48 (в ред. пост. от 05.07.17 № 23).

2. Шумилова, Г. П. Прогнозирование электрических нагрузок при оперативном управлении электроэнергетическими системами на основе нейросетевых структур / Г.П. Шумилова, Н.Э. Готман, Т.Б. Старцева. — Сыктывкар: КНЦ УрО РАН, 2008. — 78 с.

СЕКЦИЯ 2 НЕТРАДИЦИОННЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ В АПК

Андрейчик А.Е., ст. преподаватель, Синица С.И., ст. преподаватель,
Илькевич Е.В., студент

**УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь
ТЕРМОЧЕХЛЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ**

Программа государства Республики Беларусь предусматривает открытие новых производств, развитие гибких форм трудовых отношений, создание новых рабочих мест на основании кооперации труда между различными отраслями АПК. Прежде всего – это радикальное улучшение условий жизни сельчан путем строительства и обновления агрогородков.

Каждый такой городок будет иметь водоснабжение, телефон, газ, улицы с твердым дорожным покрытием, разветвленное транспортное сообщение.

Теплообменники – составная часть системы отопления в тепловых пунктах и котельных, где проходит процесс передачи тепла от одной среды - к другой, от пара - к воде. Процесс связан с большими теплопотерями.

Зачастую, теплообменники не изолируются. Нагретые до температуры $+150^{\circ}\text{C}$, они повышают температуру в помещении, которое не сможет соответствовать санитарным и температурным нормам. Следует защитить персонал, сохранить окружающее оборудование от перегрева и выделяющегося конденсата.

Термочехлы применяются для тепловой изоляции участков трубопроводов, запорно-регулирующей арматуры, фланцевых соединений, фильтров, различного ёмкостного оборудования и оборудования сложной конфигурации, в системах горячего водоснабжения, паропроводах, воздухопроводах, теплообменниках, выхлопных системах, а также для оборудования требующего периодического доступа персонала для проведения регламентных работ и ревизий.

Для надежного, удобного и оперативного монтажа и демонтажа термочехла, в его конструкции применяются различные системы крепления: заклепки, ремни с D-образными кольцами, высокотемпературные застежки-липучки, специальные системы шнуров, фиксаторов и т.д. Установка и снятие стандартного термочехла для фланцев занимает 2-3 минуты.



Форма и габариты термочехла подбираются и сшиваются таким образом, чтобы термочехол идеально подходил к форме изолируемого объекта. Крепление термочехлов производится с помощью различных видов ремней, шнуров, крючков и т.д. в зависимости от решаемых задач. Для некоторых видов термочехлов специально разрабатывают опорную металлическую раму, придающую им прочность.

Некоторые термочехлы имеют специальные герметичные окошки, которые позволяют получить текущие показатели приборов без их снятия с оборудования. Термочехлы, установленные на оборудовании с риском протечки содержимой жидкости, комплектуются специальной системой дренажа.

Термочехлы могут быть использованы как в нейтральных, так и в агрессивных химических средах при температурных условиях от -80°C до $+800^{\circ}\text{C}$ и выше. В зависимости от технических требований и условий применения для изготовления термочехлов используются разнообразные виды материалов, от обычных традиционных до специальных.

В настоящее время освоена новая технология производства термочехлов на основе теплоизоляционного материала из аэрогеля. Аэрогель – это микрочастицы диоксида кремния, имеющего самую низкую теплопроводность из всех существующих на данный момент веществ.

Аэрогель обладает самым низким, минимальным коэффициентом теплопроводности, толщины термочехлов уменьшаются в несколько раз по сравнению с термочехлами с традиционной изоляцией.

Зависимость коэффициента теплопроводности от температуры представлена на графике рисунка 1.

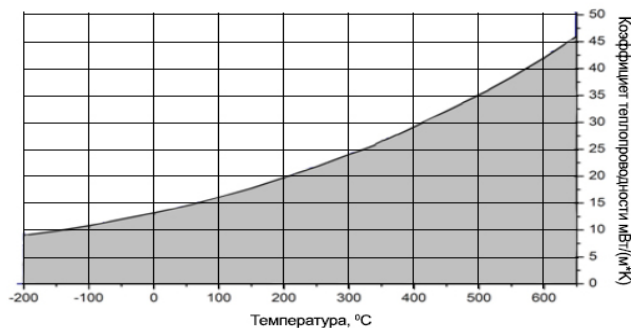


Рисунок 1. Зависимость коэффициента теплопроводности от температуры

Теплоизоляция на основе аэрогеля является негорючей, а также водонепроницаемой, что позволяет не использовать внешние защитные кожухи из листовой стали без потери рабочих характеристик во время всего срока эксплуатации.

В системе трубопроводов использование термочехлов становится осознанной необходимостью. Оголенные участки горячего водопровода нагреваются до высоких температур, поэтому узлы необходимо изолировать. Один регулировочный клапан с оголенным участком может иметь температуру 100-110 градусов Цельсия. После установки термочехла она снижается до 40-45 градусов, а это значительная экономия денежных средств.

Съемная теплоизоляция пригодна для неоднократного применения, а срок ее службы составляет около 30 лет.

Список использованных источников

1. n-a.by/catalog...termochekhly/termochekhly_tilit_n/.
2. newhatka.by/termochekhly.

Баран А.Н. к.т.н., доцент, Малитиков А.В. инженер
Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А.Д. Сахарова,
Селюк Ю.Н. ст. преподаватель

УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь

Баран А.А. студент

Словацкий технический университет, г. Братислава, Словакия
РАСШИРЕНИЕ СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ БИОГАЗА

В данной работе рассмотрена возможность использования лиственной массы в качестве сырьевой базы для получения биогаза.

В настоящее время активно ведётся добыча биогаза из навоза крупного рогатого скота, свиней, кур, а также из растительного сырья. Следует отметить, что концентрация органических кислот, а значит, и выход биогаза из растительного сырья выше. Однако при слишком высокой концентрации органических кислот (более 3000 мг/л) происходит нарушение процесса синтеза, результатом чего является задержка развития бактерий, вплоть до полной остановки процесса разложения биомассы. Также замедляющим фактором является выход уровня pH за пределы 6,7–7,6. Это обуславливается тем, что на предварительных ступенях метаногенеза производится больше органических кислот, чем может быть разложено.

Содержание сухого вещества (СВ) и органического сухого вещества (ОСВ) в субстрате являются важными характеристиками биологического сырья для производства биогаза. Данные показатели учитываются, в первую очередь для:

- оценки качества субстрата и расчета выхода метана и биогаза в целом;
- расчета удельной объемной нагрузки при проектировании или выборе реактора биогазовой установки;

- оптимизации режимов эксплуатации биогазовых установок,;
- расчета микробной нагрузки с целью поддержания стабильности процесса анаэробного сбраживания.

Указанные величины, а также содержание органического сухого вещества в воздушно сухой массе различных образцов субстрата (листвы) определялись по стандартным методикам. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты измерений и расчётов

Субстрат (листва)	Среднее значение СВ, %	Среднее значение ОСВ, %	Среднее значение ОСВ _{ВСМ} , г/кг
Клён	87,57	89,59	784,587
Берёза	87,19	93,23	812,834
Ива	86,73	89,14	773,093
Осина	87,01	87,43	760,728
Липа	86,32	88,96	767,903
Смесь	86,99	88,48	769,687

Органические кислоты – первичные продукты брожения, служащие для образования метана, воды и углекислого газа на заключительном этапе брожения. Для рассмотренных образцов листвы определялись: $V_{pH=4,0}$, $V_{pH=4,3}$, $V_{pH=5,0}$ – объёмы титрованного раствора серной кислоты до соответствующих значений pH.

По полученным значениям вычислялась концентрация органических кислот (таблица 2).

Таблица 2 – Протокол результатов измерений и расчёта выхода органических кислот

Субстрат (листва)	Количество воды, г/г субстрата	Начальное значение pH	$V_{pH=5,0}$ мл	$V_{pH=4,3}$ мл	$V_{pH=4,0}$ мл	Значение КОК, мг/кг
Клён	9,948	7,82	5,7	10,3	12,8	5942
Берёза	9,899	8,11	5,4	10,1	12,0	5740
Ива	9,841	8,41	5,3	10,0	13,2	7321
Осина	9,865	7,93	6,1	10,5	13,9	5572
Липа	9,818	8,21	5,4	10,2	12,5	6325
Смесь	9,885	8,06	5,6	10,2	13,2	6360

По результатам дальнейших расчётов и исследований установлено, что получаемый из лиственной массы биогаз состоит из метана (в среднем 54 %), углекислого газа (44 %), примесей (2 %). Результаты определения выхода биогаза из лиственной массы различных древесных пород представлены на рисунке 1.

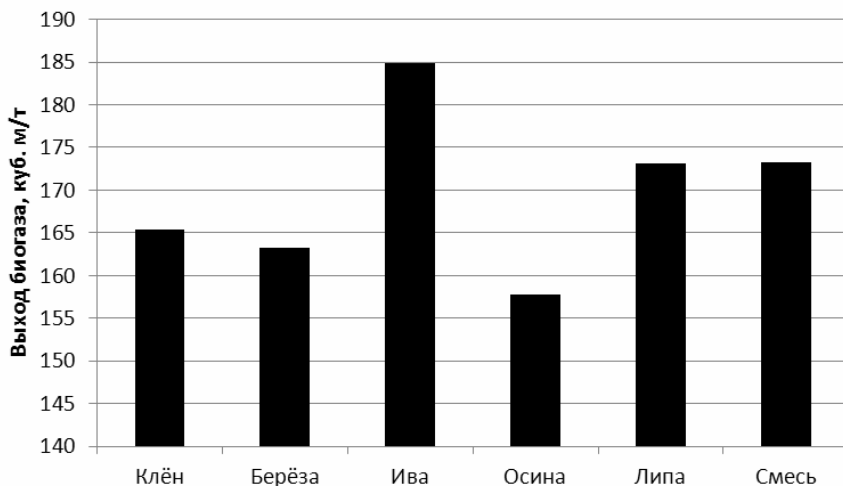


Рисунок 1. Выход биогаза (метана) из листьев

В ходе проведения исследований было установлено, что выход летучих органических кислот из листвы древесных пород очень высок. Необходим более детальный анализ состава образующихся кислот, концентрации аммиака и прочих веществ. По полученным данным можно заключить, что использование листвы в качестве чистого сырья для получения биогаза не представляется возможным из-за слишком большого выхода летучих органических кислот. Считаем необходимым продолжить исследование в данном направлении. Необходимо провести эксперимент в большем масштабе, измерить выход метана и определить состав выделяемых органических кислот. Также желательно провести эксперимент по перемешиванию листвы резервуарах большой ёмкости. Представляет интерес также взаимодействие листвы в качестве добавки с другими видами сырья для биогазовых установок и определение выхода метана из подобных смесей.

**Барашко О.Г., к.т.н., доцент, Кобринец В.П. к.т.н., доцент,
Коровкина Н. П. к.пед.н., доцент**
Белорусский государственный технологический университет, г. Минск
**НЕКОТОРЫЕ МЕТОДЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ
НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ**

Проблема энергосбережения в настоящее время имеет особую актуальность. Для республики Беларусь, не обладающей значительными запаса-

сами углеводородных ресурсов, вопросы энергосбережения особенно приоритетны. Это связано, во-первых, с ограниченностью, невозобновляемостью всех основных энергоресурсов, во-вторых, с непрерывно возрастающей сложностью их добычи, в-третьих, с глобальными экологическими проблемами, обозначившимися в последнее время, в-четвертых, со значительным повышением цен на природный газ и нефть. Снижение конкурентоспособности производимых на предприятиях республики Беларусь товаров и услуг за счет удорожания энергоносителей на фоне высокой энергоемкости производства требует принятия кардинальных мер.

В настоящее время на промышленных предприятиях процент энергетических затрат в издержках составляет 9-12%, и этот процент постоянно растет. Эта проблема связана в основном с физическим и моральным износом оборудования, большие потери энергетических ресурсов возникают также при транспортировке.

Основными направлениями экономии топливно-энергетических ресурсов можно считать следующие:

- внедрение частотно-регулируемых электроприводов;
- замена устаревших электроприводов современными энергосберегающими установками такими как вентильно-индукторными.

Энергосбережение сводится к снижению потерь энергии. Из общепринятой структуры потребителей электроэнергии, где электропривод занимает 60%, электрический транспорт – 9%, электротермия и электротехнология – 10%, освещение и прочие потребители – 21%, следует, что основной эффект может быть получен в наиболее энергоемкой сфере – сфере электропривода.

Переход к частотно-регулируемому электроприводу (ЧРЭП) позволяет радикально решить проблему энергосбережения, однако требует заметных усилий как в сфере разработки совершенных преобразователей частоты, так и в создании эффективных алгоритмов энергетического аудита, глубокого проникновения в особенности технологических процессов и оптимального использования современных микропроцессорных средств.

Система «электронный преобразователь частоты – короткозамкнутый асинхронный двигатель» в настоящее время является оптимальным техническим решением массового электропривода. Она особенно привлекательна на стадии модернизации предприятия: сохраняется все существующее оборудование, но между сетью и двигателем включается новый элемент – преобразователь частоты, радикально меняющий весь технический и экономический облик системы. Из всей электроэнергии, потребляемой электроприводом, 40% приходится на электроприводы насосов и вентиляторов.

Экономический эффект от реализации энергосберегающего мероприятия определяли с учетом приведения к номинальному режиму эксплуатации

оборудования, т.к. при других режимах работы оборудования и значительном его отклонении от номинального годовая экономия электроэнергии за более длительный период может существенно отличаться от расчетной.

В табл. 1 приведены данные расчета по определению экономической эффективности при установке ЧРЭП на насосных агрегатах.

Таблица 1.

Наименование насоса	P_{ϕ} , кВт	$P_{пч}$, кВт	W_{ϕ} , кВт/ч	$W_{пч}$, кВт/ч	ΔW , кВт/ч
Для приготовления перегретой воды	58	34	222720	130560	92160
Подпитки	71	51,4	272640	197376	75264
Охлаждения	140	101	537600	387840	149760
Расхода сетевой воды	200	91	1752000	797160	954840

где P_{ϕ} , $P_{пч}$ – потребление электрической мощности до и после установки ЧРЭП, W_{ϕ} , $W_{пч}$ – потребление электроэнергии до и после установки ЧРЭП; ΔW – экономия электроэнергии в год.

Определение экономии электрической энергии при замене асинхронных двигателей вентильно-индукторными (ВИД).

Экономия электрической энергии при замене асинхронных двигателей на ВИД одинаковых мощностей определяли по экономии электрической энергии в год (ΔW).

Исходными величинами для расчета экономичности применения ВИД на приводе электродвигателей насосов явились следующие: номинальные мощности асинхронного двигателя и ВИД – $P_{ном}$ (сравнивались двигатели одинаковых мощностей), коэффициенты, полезного действия асинхронных ($\eta_{ад}$) и ВИД ($\eta_{вид}$) двигателей, разности потерь мощности (ΔP).

В таблице 2 приведены исходные данные и оценка экономии электроэнергии при замене асинхронных двигателей вентильно-индукторными на насосных агрегатах.

Таблица 2

№ п/п	$P_{ном}$, кВт	$\eta_{ад}$, о.е.	$\eta_{вид}$, о.е.	ΔP , кВт	ΔW , кВт/ч
1	2,8	0,83	0,92	2,28	9836
2	13	0,85	0,92	1,19	5117
3	14	0,85	0,94	1,57	6751
4	18,5	0,84	0,92	1,92	8234
5	22	0,87	0,92	1,37	5891
6	30	0,88	0,94	3,31	14233
7	45	0,87	0,94	3,87	16632

Приведенные расчеты показали, что при использовании ЧРЭП и ВИД электропривода наряду с техническими преимуществами этих двигателей, приводит к значительной экономии электроэнергии на предприятиях

Таким образом, применение ЧРЭП и ВИД в качестве электроприводов различного технологического оборудования является перспективным направлением в системах энергосбережения промышленных предприятий.

**Болтянская Н.И., к.т.н., доцент, Болтянский О.В., к.т.н., доцент
ТГГАТУ, г. Мелитополь, Украина**

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ПРОЦЕССАХ ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ ОТРАСЛИ ЖИВОТНОВОДСТВА

В животноводческой отрасли, являющейся одной из наиболее энергоемких в сельском хозяйстве, затраты энергии на производство практически всех видов продукции в 2-3 раза превышают аналогичные показатели в развитых странах запада. В условиях значительного диспаритета цен на энергоносители и сельскохозяйственную продукцию рассчитывать на то, что затраты на энергоносители не возрастут не приходится. Поэтому, развитие сельскохозяйственного производства должно происходить на базе внедрения менее энергоёмких технологий, повышения уровня полезного использования энергоносителей [1,2].

В животноводстве энергозатраты составляют около 35% электроэнергии и около 30% топлива от общего количества, которое тратится в сельском хозяйстве. Значительная часть энергии используется для приготовления кормов, водоснабжения ферм и комплексов, подогревания приточного воздуха, а также при сушении сена, фуражного зерна и др. Животноводство и кормопроизводство – основные потребители жидкого топлива и электроэнергии в сельском хозяйстве. Производство продуктов животного происхождения – мяса, молока, яиц, шерсти, воссоздания поголовья, а также использование скота на сельскохозяйственных работах связанные с превращением энергии [3,4].

Рассматривая расходы энергии только в животноводческой отрасли сельскохозяйственного производства, можно отметить основную закономерность: на единицу продукции затраты увеличиваются. В совокупном энергетическом балансе производства молока прямые расходы энергии представляют лишь 12%, остальные – не прямые расходы (рис. 1). Среднегодовые прямые удельные расходы энергии на производство 1 кг молока представляют 0,95 МДж, не прямые – в 7 раз выше. В условиях комплексной механизации производства молока энергоотдача составляет всего 13,6%.

Учитывая, что процессы производства продукции отрасли животноводства преимущественно осуществляются в стационарных условиях, создаются благоприятные возможности для использования электроэнергии. При этом в структуре энергетических ресурсов, которые используются в животноводстве, значительно растет роль так называемых нетрадиционных (альтернативных) источников возобновляемой энергии – водной, ветровой, солнечной, энергии биогаза. Их использование в животноводстве может в значительной степени снизить уровень энергоемкости производимой в этой отрасли продукции. Эти возобновляемые источники энергии являются практически неисчерпаемыми. Широкое использование возобновляемых источников энергии является перспективным направлением создания надежных систем энергообеспечения и существенного улучшения условий жизни и труда населения. Активное освоение нетрадиционных источников энергии, использования вторичных энергоресурсов дают возможность повышения эффективности производства продукции животноводства и снижения ее себестоимости.



Рис. 1 – Структура удельных расходов энергии на производство молока

Учитывая, что процессы производства продукции отрасли животноводства преимущественно осуществляются в стационарных условиях, создаются благоприятные возможности для использования электроэнергии. Применение электрифицированных машин в животноводстве дает возможность значительно повысить производительность труда. Расширение зоны использования электроэнергии в животноводстве целесообразно не только с позиции уменьшения расходов материальных ресурсов на энергию, но и с точки зрения сокращения расходов энергии на производственные потребности.

Оценка технологий производства молока и мяса по биоэнергетическим показателям свидетельствует, что основные расходы энергии, связанные с использованием топливо-смазочных материалов, приходятся на раздачу кормов (2,5...2,8 ГДж за год). Использование для этой цели мобильных кормораздатчиков с электроприводом вместо двигателей внутреннего сгорания снижает энергоемкость процесса почти в 8 раз [5,6]. Для снижения общей энергоемкости производства продуктов животноводства необходимо разрабатывать более эффективные электрообильные системы транспортировки и раздачи кормов, оборудованные надежными индивидуальными источниками электроэнергии (типа аккумуляторных батарей). При этом энергоемкость транспортировки и раздачи кормов, получения горячей воды, обогрева помещений сокращается в 5,5...7,3 раза. В среднем 1 кВт·ч электроэнергии, использованной на производственные процессы в животноводстве, экономит 15 чел·ч трудозатрат.

Применение электроэнергии при доении коров, стрижке овец экономит до 50% рабочей силы, на водоснабжении животноводческих ферм – 70%, на силосовании кормов – 60%. Использование электроэнергии для транспортировки и раздачи кормов, производства пара и горячей воды, нагревания помещений позволяет сократить их энергоемкость в 5,5...7,3 раза.

Позитивное влияние на организационно-технологические основы сельскохозяйственного производства за счет применения электроэнергии обуславливает уменьшение энергоемкости процессов, в частности, это: холодная пастеризация молока ультрафиолетовым излучением; ультразвуковой способ уничтожения бактериальной флоры в молоке; аэризация воздуха в животноводческих помещениях.

Важным резервом снижения энергоемкости производства молока при привязном содержании коров является переход на доение в доильных залах. Расходы труда на разовое доение коров на установках УДТ-8, УДЕ-8А и УДА-16А уменьшаются в 2...3 раза относительно агрегатов ДАС-2Б и АДМ-8. Расходы энергии на доение коров на установках УДА-8 и УДА-16 и первичную обработку молока составляют 1534,8 и 1489,3 МДж на голову в год.

По показателям расхода энергии на центр прироста молодняка крупного рогатого скота самой эффективной является технология беспривязного содержания на глубокой подстилке, затем – с использованием комбикормов и привязного содержания. При этом больше всего экономится горюче-смазочные материалы и электроэнергия. Структура полной энергоемкости производства свинины: корма – 68,1...93,5 %; топливо – 2,27...23,85 %; машины и оборудование – 1,06...7,85 %; электроэнергия – 0,91...6,29 %; наибольшая часть расходов электроэнергии приходится на электропривод вентиляционных установок – 44,0...55,3%; ручной труд – 0,66...2,13 %; животноводческие здания – 0,07...0,11%.

Список использованных источников

1. Скляр О. Г. Механізація технологічних процесів у тваринництві: навч. посібник / О.Г. Скляр, Н.І. Болтянська. – Мелітополь: Колор Принт, 2012. – 720 с.

2. *Болтянська Н.І.* Система чинників ефективного застосування ресурсозберігаючих технологій в молочному скотарстві на підприємстві / Н.І. Болтянська // Науковий вісник ТДАТУ: Електронне наукове фахове видання. – Мелітополь: ТДАТУ, 2016.— Вип.6. Т.1. – С. 55-64.

3. *Болтянська Н.І.* Умови забезпечення ефективного застосування ресурсозберігаючих технологій в молочному скотарстві. Праці ТДАТУ.– Мелітополь: ТДАТУ, 2016. – Вип. 16. Т.2. – С. 153-159.

4. *Скляр О.Г.* Основи проектування тваринницьких підприємств: підручник / *О.Г. Скляр, Н.І. Болтянська.* – К.: Видавничий дім «Кондор», 2018. – 380 с.

5. *Болтянская Н.И.* Анализ основных направлений ресурсосбережения в животноводстве / *Н.И. Болтянская, О.В. Болтянский* // Motrol: Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa. – 2016. Vol.18. No13, b.-P.49-54.

6. *Болтянська Н.І.* Показники оцінки ефективності застосування ресурсозберігаючих технологій в тваринництві / Н.І. Болтянська //Вісник Сумського НАУ СЕРІЯ «Механізація та автоматизація виробничих процесів». – Суми, 2016. – Вип. 10/3 (31). – С. 118-121.

**Болтянская Н.И., к.т.н., доцент
ТДАТУ, г. Мелитополь, Украина
СНИЖЕНИЯ РАСХОДА ЭНЕРГОРЕСУРСОВ
ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СВИНИНЫ**

Одним из наибольших потребителей энергии в Украине остается аграрный сектор. Поэтому, с точки зрения стратегии устойчивого развития и рационального использования материальных и энергетических ресурсов и повышения энергоэффективности аграрного сектора Украины, в частности отрасли животноводства, необходимо осуществить соответствующее экономическое обоснование стратегии энергосохранности, а также разработать современную научно-нормативную базу проектирования энергоэффективных животноводческих помещений, осуществить термомодернизацию существующих зданий, вывести на украинский аграрный рынок современные инновационные системы строительства; технологий и материалов; определить направления возможного использования нетрадиционных восстанавливаемых источников энергии в животноводческой отрасли [1–5].

Главной причиной высокой энергоемкости отечественного национального дохода является низкий технологический и технический уровень экономики, использования малоэффективных энергозатратных технологий, как при производстве, так и потреблении энергоносителей в промышленных и сельскохозяйственных предприятиях. При этом масштабы использования достижений научно-технического прогресса в Украине значительно отстают от использования аналогичных технологий в разви-

тых странах мира. Поэтому ставятся задачи поиска новых технологических подходов, которые позволяют снизить расходы электроэнергии, топливных материалов и других материальных ресурсов на производство животноводческой продукции [2, 10].

В условиях свиноводческих предприятий в помещениях для содержания животных применяется естественная или принудительная вентиляция. Принцип естественной вентиляции заключается в том, что воздух подается в помещение и удаляется из него по специально устроенным каналам за счет разницы давлений снаружи и внутри здания. С точки зрения энергозатратности данная вентиляция является самой экономной, однако ее эффективность зависит от разности температур внутри и вне помещения, которая должна быть не менее 8-10°C. При меньшей разнице температур движение воздуха резко сокращается и даже прекращается. Поэтому естественная вентиляция малоэффективна при высоких внешних температурах воздуха в переходные и летние периоды года.

Анализ теплопотерь из помещений для содержания свиней показал, что мощность оборудования для поддержания необходимого микроклимата и его энергоемкость зависят от температуры воздуха снаружи и внутри помещений, степени теплозащиты зданий, воздухообмена и других факторов. Поэтому основными направлениями энергосбережения есть сокращение энергозатрат на вентиляцию и подогрев приточного воздуха и рационализация объемно-планировочных решений. Можно выделить ряд направлений снижения расхода энергоресурсов при производстве свинины на фермах и комплексах (рис. 1). Существующие энергосберегающие системы микроклимата на сегодняшний день основаны, в основном, на сокращении теплопотерь с вентиляционными выбросами и через ограждающие конструкции, а также на использовании нетрадиционной энергетики.

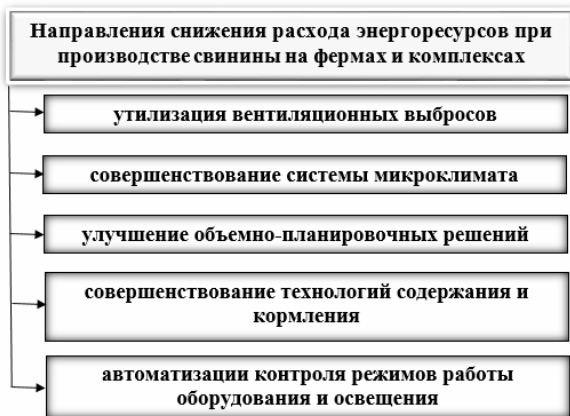


Рисунок 1 – Направления снижения расхода энергоресурсов при производстве свинины на фермах и комплексах

На свинофермах Украины реконструируется система микроклимата с использованием зарубежного оборудования. Это позволяет значительно экономить энергоресурсы. Данные системы вентиляции позволяют сократить расход электроэнергии на 30-50 %. «SKOV» – датская фирма-производитель, которая занимает ведущие позиции на мировом рынке регулирования микроклимата и контроля эксплуатационных параметров свинокомплексов и птицекомплексов рекомендует для реконструируемых предприятий систему вентиляции без применения воздуходувных установок (рис. 2). Воздух в помещение попадает через приточные системы. Узловой момент системы - трапезиевидное перекрытия из пластин для приточного воздуха. Пластины выполнены из стеклопластика, поэтому не подвержены коррозии. Перекрытия включает два слоя из стекловолокна и крепится с помощью винтовых соединений. Воздух удаляется из помещения через вытяжной камин CL-600, высокая производительность которого сочетается с низким потреблением электроэнергии. В нем предусмотрена возможность аварийной вентиляции с помощью потока воздуха, обусловленного неравномерностью нагрева поверхности.

Основными составляющими элементами систем автоматического контроля климата от «SKOV» являются: вытяжные шахты с вентиляторами; приточные клапана или устройства принудительного притока воздуха; мотор-приводы и соединительные элементы; компьютеры для управления микроклиматом.

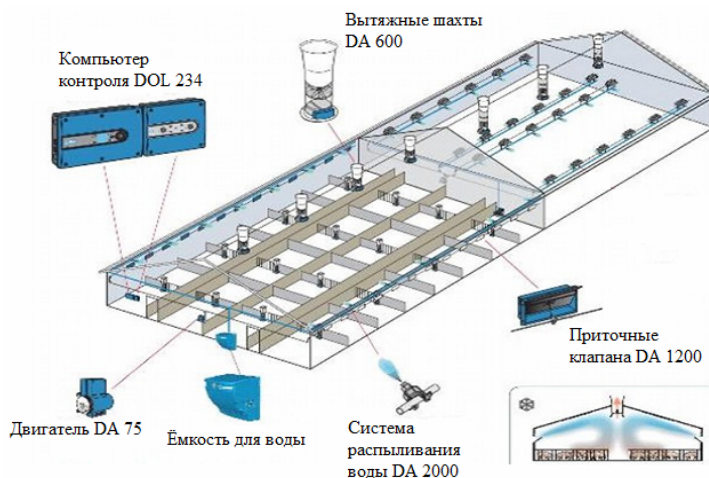


Рисунок 2 – Система автоматическогоого контроля климата «SKOV»

Отличительной особенностью систем микроклимата, предлагаемых зарубежными фирмами, является то, что в основном применяются вытяжные вентиляционные системы, с помощью которых в помещении создается пониженное давление и свежий наружный воздух поступает извне через различные конструкции: каналы, клапаны, приточные шахты или перфорированный потолок. Получают распространение и системы равно-го давления, однако их недостатком является высокая стоимость.

Список использованных источников

1. *Болтянская Н.И.* Пути развития отрасли свиноводства и повышение конкурентоспособности ее продукции / *Н.И. Болтянская* // *Motrol: Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa*, 2012. – Vol.14. No3, b. – P.164-175.
2. *Болтянська Н.І.* Система чинників ефективного застосування ресурсозберігаючих технологій в молочному скотарстві на підприємстві / *Н.І. Болтянська* // *Науковий вісник ТДАТУ: Електронне наукове фахове видання*. – Мелітополь: ТДАТУ, 2016. – Вип.6. Т.1. – С. 55-64.
3. *Болтянська Н.І.* Умови забезпечення ефективного застосування ресурсозберігаючих технологій в молочному скотарстві. *Праці ТДАТУ*. – Мелітополь: ТДАТУ, 2016. – Вип. 16. Т.2. – С. 153-159.
4. *Скляр О.Г.* Основи проектування тваринницьких підприємств: підручник / *О.Г. Скляр, Н.І. Болтянська*. – К.: Видавничий дім «Кондор», 2018. – 380 с.
5. *Болтянская Н.И.* Анализ основных направлений ресурсосбережения в животноводстве / *Н.И. Болтянская, О.В. Болтянский* // *Motrol: Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa*. – 2016. Vol.18. No13, b.-P.49-54.
6. *Болтянська Н.І.* Показники оцінки ефективності застосування ресурсозберігаючих технологій в тваринництві / *Н.І. Болтянська* // *Вісник Сумського НАУ СЕРІЯ «Механізація та автоматизація виробничих процесів»*. – Суми, 2016. – Вип. 10/3 (31). – С. 118–121.

**Герасимович Л.С., д.т.н., академик, Тайнова А.А., аспирант
Республиканское научно-производственное унитарное предприятие
«Институт энергетики Национальной академии наук Беларуси»,
г. Минск**

СИСТЕМА КОМПЛЕКСНОГО ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ АГРОПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ С ЗАМКНУТЫМ ЦИКЛОМ

В настоящее время в Республике Беларусь кроме специализированных предприятий по переработке продукции животноводства (38 предприятий по переработке молока и 20 мясокомбинатов) переработкой сельскохозяй-

ственного сырья занимаются цеха «Белкоопсоюза», подсобные производства сельскохозяйственных организаций, а также организации частной формы собственности. Мясокомбинаты перерабатывают около 70 % реализуемого скота в Республике, на молокоперерабатывающие заводы направляется около 90 % произведенного молока.

Значительный интерес представляют цеха по переработке сельскохозяйственной продукции на местах ее производства.

В большинстве таких хозяйств никогда не проводились энергетические обследования, в силу того, что они имеют годовое потребление ТЭР до 1500 т у.т., поэтому не сформировано грамотной политики энергосбережения, направленной на более эффективное и рациональное использование ТЭР. Работы по энергосбережению ведутся своими силами, но имеется значительный потенциал. На долю таких хозяйств приходится до 30% переработки мяса и около 10% молока в целом по стране.

Этот сегмент сельхозпредприятий будет рассмотрен на примере 60 передовых базовых сельскохозяйственных предприятий. На 33 предприятиях имеются цеха собственной переработки продукции животноводства мясного (свиньи, КРС, овцы птица) и молочного направления.

Молоко частично перерабатывается только на 4 предприятиях, все 33 цеха имеют переработку мясной направленности. Подсобные цеха по переработке имеют различную глубину переработки сырья, как полный технологический цикл, так и частичная переработка.

Перерабатывающие цеха по объему перерабатываемой продукции можно кластеризовать следующим образом: крупные цеха – от 1 до 5 тыс.т/год (7 предприятий); средние цеха – от 0,4 до 1 тыс.т/год (7 предприятий); малые цеха – менее 0,4 тыс.т/год (18 предприятий). Эталонное предприятие СПК «Агрокомбинат Снов» – более 20 тыс.т/год. Виды топливно-энергетических ресурсов, используемые в перерабатывающих цехах: топливо (природный газ, котельно-печное топливо, а также местные энергоресурсы, такие как дрова, торф, отходы деревообработки, сельскохозяйственной деятельности и пр.), электрическая и тепловая энергия.

Применяемые технологии, технологическое и энергетическое оборудование, состояние техники в подсобных цехах по переработке сельскохозяйственного сырья, отличаются незначительно на разных предприятиях, как правило, это оборудование, оставшееся с советских времен, частично сильно модернизировано, заменено на новое.

Системы комплексного энергообеспечения могут быть представлены различным сочетанием инновационных генерирующих, сетевых объектов и потребительских технологических установок и оборудования. Такие энергосистемы могут быть изолированными энергетическими «островами» либо иметь электрические связи с единой энергетической системой и взаимодействовать с ней с помощью технологий «микрогрид».

На рисунке 1 приведена система комплексного энергообеспечения перерабатывающих цехов.

Выводы. Создание собственных энергоцентров, позволит заменить и/или модернизировать морально и физически устаревшее неэффективное оборудование; повысить эффективность процессов теплотребления, максимально используя собственную комбинированную выработку электроэнергии на теплотехнологическом потреблении (увеличить коэффициент использования топлива); утилизировать отходы производства (органические отходы животноводства, растениеводства и переработки с/х сырья); использование ВИЭ, и как следствие, увеличить долю использования МВТ; улучшить экологическую обстановку, снизив выбросы CO₂ и улучшив экологию производства; снизить затраты ТЭР на производство продукции и уменьшить себестоимость продукции; создать дополнительные рабочие места на производстве; повысить энергобезопасность агропромышленного предприятия с замкнутым циклом производства.

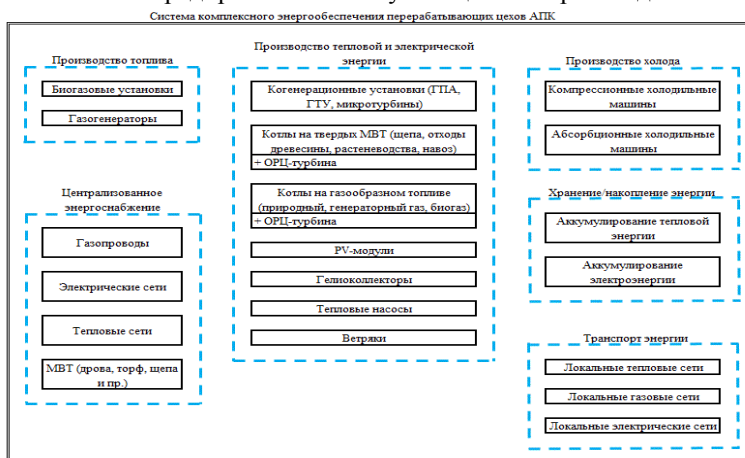


Рисунок 1 – Система комплексного энергообеспечения перерабатывающих цехов АПК

Список использованных источников

1. Маркова В.М., Чурашев В.Н. Возможности повышения эффективности и оптимизации структуры энергетики: роли «большой» и «малой» генерации // Мир экономики и управления. 2017. Т. 17, № 3. С. 62–84.
2. Ковалев, М.М. Рейтинг экономической развития 60 базовых сельхозпредприятий Республики Беларусь / М.М. Ковалев, Е.С. Тарасенко // Вест. Ассоциации белорус, банков. – 2009. - № 6. - С. 10-19.
3. Когенерация - выход для переработчиков / Л.А. Маринич [и др.] // Техника и наука. – 2013. – № 11. – С. 100-103.

4. Энергоэффективность аграрного производства / В.Г. Гусаков [и др.]; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т экономики, Ин-т энергетики; под общ. ред. В.Г. Гусакова, Л.Л. Герасимовича. – Минск: Беларус. навука, 2011. – 776 с.

**Говор Г.А., д.ф.н., профессор, Научно-практический центр
по материаловедению НАНРБ**

**Добрянский В.М. д.т.н., профессор, УО «Белорусский государственный
аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь**

Ларин А.О., аспирант

Научно-практический центр по материаловедению НАНРБ,

ТЕРМОМАГНИТНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ, КАК ИСТОЧНИК

АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГИИ

Аннотация

Разработан опытный образец терромагнитного двигателя, использующего перепад температур порядка 10-15С для активации фазового перехода 1-го рода из ферромагнитного состояния в неупорядоченное в арсениде марганца. Показана возможность преобразования тепловой энергии, например свет - тень, в механическую энергию вращения диска или барабана. Рассмотрены варианты терромагнитного двигателя, как источника альтернативной энергии.

Введение

Известно устройство тактового терромагнитного двигателя, содержащее рабочие элементы из ферромагнитного материала, постоянные магниты, теплопроводящие стержни, тяги и коромысло с осевым упором [1].

Недостатком известного устройства является низкая частота переключения или низкая тактовая частота, определяемая высокой теплоемкостью теплопроводящих стержней, что исключает возможность его использования не как макетного образца, а в качестве реально работающего двигателя.

Наиболее близким по технической сущности является терромагнитный двигатель с гадолиниевым рабочим элементом, основу которого составляет ротор, выполненный в виде диска из теплонепроводящего материала (оргстекло), посаженный на дюралевою ось с возможностью вращения в горизонтальной плоскости [2].

Недостатком данного устройства является использование в качестве рабочего элемента гадолиния с температурой Кюри 16°С. Низкая температура Кюри создает, с одной стороны, неудобство с его использованием, с другой стороны, фазовый переход 2-го рода из ферромагнитного состояния в парамагнитное обуславливает плавное уменьшение намагниченности гадолиния с изменением температуры. Последнее определяет необходимый температурный диапазон работы материала в устройстве как минимум 50°С

или от -34°C до $+16^{\circ}\text{C}$. Значительный температурный диапазон работы существенно снижает скорость вращения диска, что исключает возможность его использования в качестве реально работающего двигателя.

Задачей настоящей работы является создание реально работающего термомагнитного двигателя с высокой скоростью переключения из ферромагнитного состояния в разупорядоченное магнитное состояние.

Предложен термомагнитный электродвигатель, состоящий из постоянных магнитов и ферромагнитного материала. Новым по мнению авторов является использование в качестве рабочего материала ферромагнетика - арсенида марганца (MnAs) [3], в котором разрушение ферромагнитного упорядочения при нагреве происходит в результате фазового перехода 1-го рода при нагреве при температуре $T_u = 45^{\circ}\text{C}$, а при охлаждении восстановление ферромагнитного состояния происходит при температуре $T_u = 40^{\circ}\text{C}$ [4], размещенного в виде слоя на теплопроводящем медном барабане или диске. При этом односторонний нагрев магнитного слоя до температуры перехода происходит при сохранении температуры медного диска или барабана на 10°C ниже температуры разрушения магнитного упорядочения, а температур теплоносителя - воздуха или воды, выбирается такой, чтобы обеспечить повышение температуры поверхности ферромагнитного слоя на 10°C до температуры разрушения ферромагнитного упорядочения в течение 0,1-0,05 сек. Камеру с теплоносителем размещают ассиметрично относительно магнитов и теплоизолируют от магнитов.

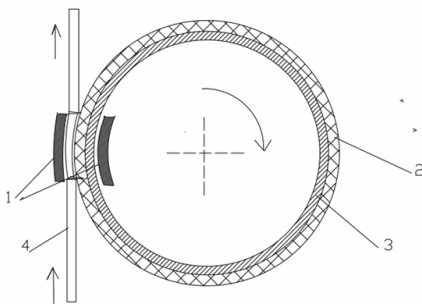


Рис. 1. Термомагнитный двигатель барабанного типа

Сущность изобретения поясняется Рис. 1, на котором приведена конструкция термомагнитного двигателя с ротором в виде барабана 3 с ферромагнитным слоем 2, постоянных магнитов 1 и тепловой камеры 4.

На Рис. 2, на термомагнитный двигатель с дисковым ротором 3 и ферромагнитным слоем 2, постоянных магнитов 1, тепловой камеры 4 и теплоизоляции 5.

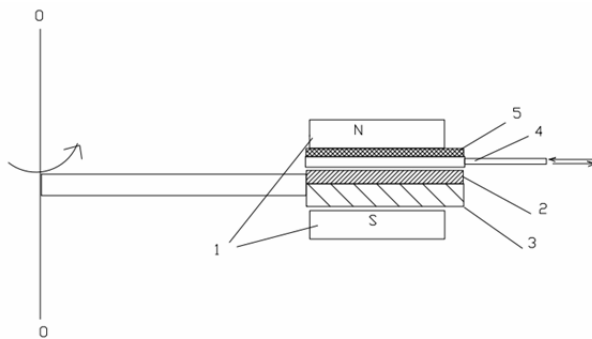


Рис. 2. Терромагнитный двигатель дискового типа

Температурная зависимость намагниченности арсенида марганца, при нагреве (кривая 6) с температурой перехода 1-го рода при $T_u = 318\text{K}$ (45°C) и охлаждении кривая (7) при температуре $T_u = 313\text{K}$ (40°C) в магнитном поле 0,1 Тесла приведена на Рис.3, температурная зависимость намагниченности в сверхсильных полях 14 Тесла приведена на Рис.3, кривая 8.

При подаче в тепловую камеру 4 теплоносителя, например воздуха или воды, с температурой, превышающей температуру перехода для арсенида марганца 45°C , происходит разрушение ферромагнитного упорядочения в поверхностном слое 2 магнитного материала.

Работает терромагнитный двигатель следующим образом. Исходное состояние барабана или диска 3 со слоем ферромагнитного материала арсенида марганца - 2, задается температурой на $5-10^\circ\text{C}$ ниже температуры перехода в разупорядоченное магнитное состояние.

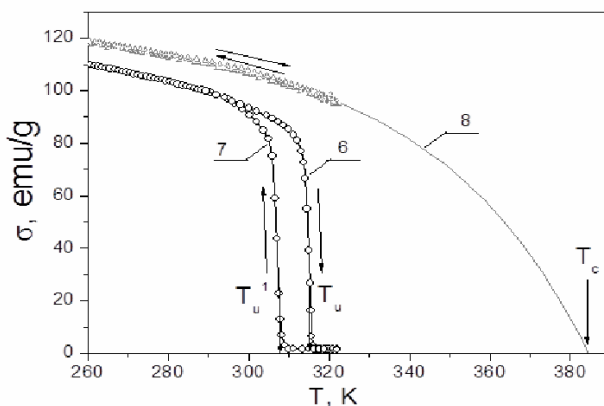


Рис. 3. Кривые намагничивания арсенида марганца в полях $H=0,75\text{ Т}$ (кривые 6,7) и в поле $H=12\text{ Т}$, в сверхсильных полях $H=14\text{ Т}$ (кривая 8).

Известно, что при фазовом переходе в арсениде марганца с разрушением ферромагнитного упорядочения в поверхностном слое происходит уменьшение удельного объема материала на 1,8%. Как следствие этого, на поверхности формируется ударная волна сжатия, вызывающая фазовый переход в неупорядоченное магнитное состояние во всем нижележащем слое магнитного материала. Длительность процесса фазового перехода разрушения ферромагнитного упорядочения под действием ударной волны определяется скоростью ее распространения в твердом теле и приближается к 10-3 сек.

Возникновение под постоянными магнитами 1 немагнитной фазы арсенида марганца приводит к втягиванию в зону постоянных магнитов соседнего участка барабана или диска с ферромагнитным упорядочением и вышеописанный процесс снова повторяется.

Немагнитная фаза арсенида марганца после выхода из зоны действия постоянных магнитов охлаждается теплопроводящим барабаном или диском до температуры 35-40°C с восстановлением упорядоченного ферромагнитного состояния.

Температура теплоносителя, например воздуха или воды, выбирается такой, чтобы обеспечить повышение температуры поверхности ферромагнитного слоя на 10°C до температуры разрушения ферромагнитного упорядочения в течение 0,1-0,05 сек. В результате скорость вращения барабана или диска будет составлять в пределах 200 – 1000 об/мин.

Тепловая камера 4 для исключения нагрева постоянного магнита имеет теплоизоляцию 5, и располагается относительно магнитов ассиметрично для обеспечения определенного направления вращения барабана или диска.

Создание реально работающего терромагнитного двигателя с высокой скоростью переключения из ферромагнитного состояния в разупорядоченное магнитное состояние позволит на его основе разработать преобразователи тепловой энергии в электрическую энергию.

Список использованных источников

1. Патент РФ 2067213 кл.F03G7/00.
2. К.Н. Андреевский и др. Журнал технической физики, 1998, т.68 с. 119-122.
3. Г.А. Говор, В.М. Добрянский, А.Н. Медведев, 1975, А.с. СССР № 29676.
4. Г.А. Говор, В.М. Добрянский. Вести АН БССР, серия физико-технических наук, 1977. №3, с. 84-87.

Гутман В.Н., к.т.н., доцент

УО «Барановичский государственный университет», г. Барановичи
ПУТИ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ В
ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМАХ СВИНАРНИКОВ

В настоящее время в Беларуси эксплуатируются более ста свинокомплексов мощностью от 12 до 108 тысяч голов откормочных свиней в год. В

условиях интенсивного ведения свиноводства по новым инновационным технологиям существенное значение имеют условия создания и поддержания параметров микроклимата в свиноводческих помещениях, так как продуктивность свиней на 20-30% зависит от состояния воздушной среды в помещениях для их содержания.

Схема вентиляции определяет направление воздушных потоков в помещении и зависит от месторасположения приточных и вытяжных устройств. Тепло, выделяемое свиньями в зимних условиях, должно смешиваться с чистым приточным воздухом, тем самым способствуя снижению расхода тепловой энергии на обогрев помещения, а в теплое время года – уноситься загрязненным воздухом помещения, также снижая затраты энергии на охлаждение свиней.

Циркуляция воздушных потоков по свиноводческое помещение, оснащенное вентиляцией с механическим побудителем тяги, может происходить по двум схемам – сверху-вниз и снизу-вверх. Первый способ наиболее распространен в странах с холодным климатом, поскольку значительный экономический эффект достигается за счет экономии тепловой энергии при поступлении приточного воздуха с верхней части помещения, прогреваемого восходящими потоками теплого внутреннего воздуха. Второй способ эффективнее в теплом климате, так как уходящий вверх прогретый воздух создает разрежение в помещении и снижает нагрузку на вентиляторы, удаляющие использованный воздух в окружающую среду. В системах вентиляции свинарников и птичников, действующих по этой схеме, большая часть приточного воздуха (80%) удаляется из помещения, не достигнув зоны размещения животных и птицы. В этом случае для проветривания нижней зоны необходимо увеличить воздухообмен или скорость воздуха, что потребует увеличения капитальных и энергетических затрат.

Повышение зоогигиенических требований к системам вентиляции обусловливается хозяйственной эксплуатацией высокопродуктивных пород свиней, чувствительных к колебаниям параметров микроклимата и газовому составу воздушной среды в помещениях. По технологическим и энергетическим критериям действующие системы вентиляции в холодный период года при воздухообмене $30 \text{ м}^3/\text{ч}$ на центнер живой массы свиней не обеспечивают нормативный газовый состав воздушной среды. Содержание аммиака, пыли и микроорганизмов в помещениях превышает допустимые значения в 2–3 раза. Установлено, что за 1 час системами вентиляции в свиноводческом комплексе по выращиванию и откорму свиней мощностью 54 тысячи голов выбрасывается из помещений в атмосферу до 19,7 кг аммиака; 14,2 кг пыли; 380 млрд. колониеобразующих единиц (далее – КОЕ) микроорганизмов, в том числе 4,6 млрд. бактерий кишечной палочки [1].

Действующие вентиляционно-отопительные системы выбрасывают из помещений отработанный воздух температурой до 20°C, насыщенный аммиаком, микроорганизмами, загрязняя воздушный бассейн и почву. По-

тенциал удаляемого тепла составляет 50% от общего потребления тепловой энергии на создание микроклимата в холодный и переходный периоды года. Применение эффективных методов и средств очистки воздуха внутри помещения до 95% позволит снизить нормативный воздухообмен с $30 \text{ м}^3/\text{ч}$ до $15 \text{ м}^3/\text{ч}$ на центнер живой массы свиней в холодный период года и уменьшить потребление тепловой и электрической энергии на поддержание требуемого температурно-влажностного режима в помещении примерно на 30%.

На основании анализа можно сделать четкий вывод, что наиболее эффективной является схема организации воздухообмена с притоком в верхнюю зону и вытяжкой из нижней («сверху-вниз»). В этом случае обеспечивается более полное использование теплоты, выделяемой животными, для подогрева приточного воздуха, обеспечивается надежное «омывание» свежим воздухом зоны их размещения, уменьшается перепад температур по вертикали. Содержание аммиака при этой схеме вентиляции было наименьшим, причем в данном варианте воздухообмен минимальный ($2,6 \text{ м}^3/\text{ч}$ на 1 кг живой массы), во всех остальных случаях он был выше в 2,4–10 раз.

В РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» разработана установка очистки воздуха от вредных газов, предназначенная для рециркуляционной очистки воздуха от аммиака, пыли и бактериальной обсемененности в помещениях свиноводческих комплексов.

Функционально установка обеспечивает в автоматическом режиме приготовление регенеранта и орошение блок-контактора фильтра, забор из помещения отработанного воздуха, его очистку, подачу воздуха вентилятором в помещение с распределением его в зоне размещения животных и слив использованного водного раствора при достижении $\text{pH}=5,5$.

Установка рециркуляционной очистки воздуха от аммиака смонтирована в секции на 600 голов свинарника-откормочника, где были проведены приемочные испытания. Испытания проводились в двух секциях свинарника-откормочника, одна из которых была опытной, а вторая – контрольной. В контрольной секции температурно-влажностный режим поддерживался существующей системой вентиляции без очистки воздуха, а в опытной – аналогичной системой вентиляции, но с рециркуляционной очисткой отработанного воздуха в фильтре установки и с подачей его в помещение с распределением по зонам размещения животных.

В процессе испытаний установка очистки воздуха работала в автоматическом режиме по двум алгоритмам. Первый обеспечивал непрерывный забор и подачу загрязненного воздуха в фильтр и очищенного в помещение в течение суток (24 часа), при втором алгоритме через каждые три часа работы установка очистки воздуха останавливалась на один час. Время работы установки в течение суток во втором случае составляло 18 часов, а простоя – 6 часов. Орошение блок-контактора фильтра водным раствором серной кислоты концентрацией от 3 до 5% длительностью 1 минута проводилось через каждые 30 минут [2].

Изучение газового состава воздуха показало, что концентрация аммиака в обеих секциях была одинаковой в начале опыта и составляла в среднем $5,3 \text{ мг/м}^3$. При втором исследовании она составила в контрольной секции $6,2 \text{ мг/м}^3$ при колебаниях от $5,5$ до $8,0 \text{ мг/м}^3$, а в опытной через 4 часа после включения установки очистки воздуха концентрация аммиака снизилась до $2,5 \text{ мг/м}^3$. Колебания при этом составили $2,0$ – $3,0 \text{ мг/м}^3$. В среднем за период испытания концентрация аммиака в контрольной секции составила $7,7 \text{ мг/м}^3$, а в опытной снизилась до $2,6 \text{ мг/м}^3$ и составила $66,2\%$ в сравнении с контрольной секцией. В воздухе, прошедшем очистку в установке, следов аммиака не установлено.

Заключение

1. Одним из методов снижения энергопотребления в системах вентиляции свиноводческих помещений в зимних условиях является рециркуляционная очистка воздуха, удаляемого из помещения, и возврат его путем смешивания с воздухом помещения. Такая система вентиляции поддерживает температурный, влажностный режим и газовый состав воздуха в секции на 600 голов откорма и, таким образом, очистка воздуха является одним из важнейших направлений снижения энергопотребления системами микроклимата.

2. Дальнейшие исследования систем рециркуляционной очистки воздуха должны быть направлены на установления энергосберегающих режимов ее работы в разные периоды года, при которых обеспечиваются зоотребования по уровню концентрации вредных веществ в воздухе свиноматок и нормативная продуктивность свиней.

Список использованных источников

1. Крупные животноводческие комплексы и окружающая среда / М.А. Мироненко [и др.]. – М.: Медицина, 1980. – 259 с.
2. Косандрович, Е.Г. Сорбция аммиака из воздуха волокнистым сульфокатионитом ФИБАН К-1 / Е.Г. Косандрович, В.С. Солдатов // Весці НАН Беларусі: сер.хім. навук. – 2004. – №3. – С. 95-98.

Ербаев Е.Т. к.т.н., ст. преподаватель,

Куптлеуова К.Т. ст. преподаватель

***Западно-Казахстанский аграрно-технический университет
имени Жангир хана, г. Уральск, Республика Казахстан***

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ В КАЗАХСТАНЕ

В Казахстане энергосбережение и повышение энергоэффективности всех отраслей хозяйства является в настоящее время приоритетной задачей, которая позволит решить комплекс проблем: энергетических, экологических,

гических и экономических. Без решения этой задачи неизбежно будет сдерживать развитие страны.

Из-за наличия значительных запасов ископаемых энергоресурсов Казахстан был почти на последнем месте в области энергосбережения. Но к 2040 году исчезнут доступные залежи нефти, газа и урана в РК, а к 2070 году они будут полностью исчерпаны на Земле. Поэтому Казахстану нужно думать о новой энергоэффективной и экологически безопасной программе выработки и потребления электрической энергии. Нужно включаться в мировое сообщество и следовать тенденциям, которые актуальны сегодня в мире [1].

Для проведения энергосберегающей политики в Казахстане введена нормативная правовая база, Законы «Об энергосбережении и повышении энергоэффективности» и «О внесении изменений и дополнений в некоторые законодательные акты по вопросам определяющий правовые, экономические и организационные основы деятельности в области энергосбережения и энергоэффективности».

Главой государства в области энергосбережения поставлена задача по снижению энергоемкости внутреннего валового продукта не менее чем на 10% к 2015 году и 25% к 2020 году. Основой для проведения энергосберегающей политики является действующая нормативная правовая база. Президентом РК 13 января 2012 года были подписаны законы РК «Об энергосбережении и повышении энергоэффективности» и «О внесении изменений и дополнений в некоторые законодательные акты по вопросам определяющий правовые, экономические и организационные основы деятельности в области энергосбережения и энергоэффективности. Необходимо отметить, что промышленность потребляет свыше 70% всей электроэнергии. В рамках комплексного плана проведен их энергоаудит 50/50 (50% финансирования - это собственные средства предприятий, остальные 50% - это госбюджет) [1].

По итогам энергоаудита выработаны системные меры для снижения энергоемкости промышленности, включая электроэнергетику. В мае 2013 года правительством презентован проект новой программы «Энергосбережение - 2020».

Программа включает совершенно новые подходы по 9 направлениям. Предполагается, что Программа «Энергосбережение - 2020» будет реализована в два этапа.

На первом этапе необходимо завершить энергоаудит всех крупных потребителей и реализовать все намеченные региональные, отраслевые планы энергосбережения и планы энергоэффективности промышленных предприятий.

На втором этапе уже непосредственно начнется масштабная форсированная реализация всех намеченных мер: 90% охват модернизации промышленных предприятий и других направлений. Обеспечение эффектив-

ности экономики республики возможно только на основе стратегического планирования комплексных программ энергоэффективности, включающих мероприятия по модернизации основных фондов, повышению качества управления и квалификации производственного персонала, привлечения масштабных инвестиций.

Исходя из этого, необходимым условием реализации Новой Программы является использование накопленного научно-технического потенциала и нового инновационного мышления, повышение инвестиционной привлекательности энергоэффективности как нового специализированного вида деятельности.

Основными потребителями энергетических ресурсов в Республике являются сектор выработки электро и теплоэнергии, промышленность и жилищно-коммунальное хозяйство, на долю которых, соответственно, приходится 20%, 25% и 50% от общего потребления электроэнергии.

Как показали результаты обследования значительный эффект может быть достигнут и за счет проведения мероприятий связанных с электрической энергией. Целесообразна установка современных энергосберегающих ламп вместо ламп накаливания и современных светильников. При этом потребляемая электрическая мощность снижается в 3 - 5 раз при той же светоотдаче. Срок окупаемости этих мероприятий не превысит 1,5-2,5 лет. В организациях бюджетной сферы большой эффект дает энергетическое обследование бюджетных учреждений города с разработкой мероприятий по энергосбережению [2].

Только само энергетическое обследование может обеспечить за счет разработки организационных мероприятий экономию в 4 - 6% от оплаты за коммунальные услуги. Таким образом, внедрение энергосберегающих мероприятий в бюджетной сфере республики со сроком окупаемости только до 2-х лет может сэкономить до 20% выделяемых бюджетных средств на оплату коммунальных услуг, а общий потенциал энергосбережения бюджетных организаций республики может составить не менее 25-30% потребляемых энергоресурсов, при этом срок окупаемости типовых энергосберегающих мероприятий в бюджетных организациях даже при действующих тарифах составляет от 1,5 до 4 лет.

Опыт развитых стран показывает, что наиболее приемлемым механизмом энергосбережения в бюджетных учреждениях является схема контрактов с энергосервисной компанией (ЭСКО), которая за счет собственных средств реализует все необходимые мероприятия по энергосбережению. По окончании работы из суммы экономии, полученной за счет внедренных энергосберегающих мероприятий, бюджетная организация рассчитывается с ЭСКО за выполненные ею работы. Расчеты показывают, что даже при существующем тарифе срок окупаемости работ выполненных ЭСКО может составлять от 2-х до 3-х лет, что исключительно выгодно для бюджета Республики [3].

Немалый экономический эффект в области энергосбережения может быть получен при внедрении:

- двухставочного тарифа для промышленных предприятий (по установленной мощности и фактическому энергопотреблению);
- массового внедрения индивидуальных (квартирных) приборов коммерческого учета тепловой энергии (по аналогии с электросчетчиками) в жилищно-коммунальном секторе и бюджетных организациях.

Сегодня для эффективного энергосбережения существует достаточно много препятствий, среди которых главными являются нехватка финансовых средств для осуществления необходимых мероприятий, а также невысокий уровень культуры энергосбережения. Вопросы энергосбережения, являющиеся актуальными, волнуют как весь мир в целом, так и каждого индивидуума в отдельности [3].

Стремление следовать тенденциям мировой энергетики - отличный пример для подражания. Сейчас наступило время бережливого пользования энергоресурсами. Происходит также смена мировоззрения и формирование нового сознания и модели поведения человека, направленных на экономичное и рациональное отношение к природным ресурсам.

Список использованных источников

1. Журнал «Вестник Энергетика» №2 (41) от 05.2012 г. Доклад Александры Садовской «Об эффективности снижения Нормативных потерь электроэнергии» (г. Алматы, 02.03.2012 г.) Подробнее: <http://meganauka.com/education/890-problemy-energo-sberezheniya-i-energoeffektivnosti-v-ekonomike-kazahstana.html>.
2. Беляев, В.С., Проектирование энергоэкономичных и энергоэффективных зданий / В.С. Беляев, Л.П. Хохлова. - М.: Высшая школа, 1992 г. – 255 с.
3. Дарханов, Т.Н. Проблемы энергосбережения и повышения энергоэффективности в Республике Казахстан // Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки: сб. ст. по мат. XLVI междунар. студ. науч.-практ. конф. № 9(45). URL: [https://sibac.info/archive/technic/9\(45\).pdf](https://sibac.info/archive/technic/9(45).pdf). (дата обращения: 07.11.2017), 335 с.

**Занкевич В.А., к.ф.-м.н., доцент, Горный А.В., к.с.-х.н., доцент,
Гуринович М.М., студент**

***УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь***
АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ БИОЭНЕРГЕТИКИ

Биоэнергетические технологии относятся к энерго- и ресурсосберегающим, которые используют возобновляемые источники энергии (ВИЭ). Данные технологии разделяются на получение биогаза и биомассы. В работе анализируется состояние указанных технологий в странах ЕС и РБ.

Широкое внедрение биогазовых технологий в развитых странах ЕС началось в 80-90 г.г. прошлого столетия. Получение биогаза на биогазовых комплексах (БК) происходит путем анаэробного сбраживания органических отходов: а) субстрата (навоза) крупного рогатого скота, свиней, куриного помета; б) отходов жилищно-коммунального хозяйства; в) отходов пищевой промышленности. Для производства биогаза наряду с данными жидкими отходами необходимо органическое сухое вещество (ОСВ, energy crops). В качестве ОВС используют, в основном, кукурузный силос. Значительное число работ уделяется технологиям приготовления субстрата и ОСВ, подбору оборудования для технологического процесса, анализу конструкций ферментеров, газгольдеров, насосов, систем автоматизации, емкостей для хранения отходов переработки дигестата, когенерационным энергетическим установкам (мини-ТЭЦ), работающим на биогазе, получение из биогаза чистого метана[1].

Анализируя состояние развития БК в странах ЕС, следует отметить, что практически все страны ЕС активно внедряют биогазовые технологии. Пик строительства БК в странах ЕС приходится на 2005-2015 годы, время, когда наблюдалась эффективная поддержка инвесторов за счет зеленых сертификатов, что составило от 20 до 35 евроцентов за 1 кВт·ч электрической энергии в зависимости от мощности БК и типа субстрата. Мировым лидером по внедрению БК (порядка 10000 БК), обладающим большинством инновационных патентов, является Германия. В настоящее время инвестирование БК находится на уровне 14-17 евроцентов за 1 кВт·ч. Инвесторы охотнее инвестируют в менее затратные зеленые технологии с использованием энергии солнца, ветра. Кроме того из-за увеличения спроса на корма возросли цены на кукурузный силос, который использовался в качестве энергетического растительного субстрата, т.е. увеличились затраты инвесторов на существующих БК в странах ЕС. Тренды в биогазовых технологиях стран ЕС приведены в [2] и направлены для увеличения добавленной стоимости, снижения затрат на собственные нужды проектов, иначе они окажутся неконкурентоспособными по отношению к ВИЭ солнца, ветра. Тем не менее, биогазовые технологии будут существовать в связи с тем, что у них есть ряд сопутствующих синергетических эффектов, главными из которых является [1, 2]: экология обращения с органикой; утилизация различных отходов; использование эффекта когенерации и дигестата; возможность регулируемого участия в графике энергосистем и т.д.

Согласно данным Международного агентства по ВИЭ (IRENA) в мире развитие в 2018 г. биоэнергетики скромное по отношению к ВИЭ солнца, ветра: Китай увеличил мощность БК на 2 ГВт, Индия на 700 МВт, Великобритания на 900 МВт.

Для получения биомасс используют твердые органические отходы: растениеводства, жилищно-коммунального хозяйства; пищевой промышленности; использование быстрорастущих растений для энергетических целей и другие органические отходы промышленных предприятий. В [2] отмечено, что получение и использование биомасс является более перспективным направлением по сравнению с биогазовыми технологиями, как в странах ЕС, так и на мировом рынке. Основное применение биомасс: энергообеспечение паром, электрической энергией с помощью мини-ТЭЦ, например, с использованием парогазовой установки (ПГУ) и холодом с применением абсорбционно-холодильной машины (АБХМ) промышленных производств. Древесная биомасса широко используется для нужд централизованного и децентрализованного отопления, выработки электроэнергии, как во многих странах ЕС, так и в РБ. В странах ЕС при использовании биомасс сформировался ряд трендов, которые приведены в [2]. В РБ по линии Всемирного банка в системе ЖКХ реализован и реализуется ряд проектов перевода отопительных котельных на местные виды топлива. На многих ГРЭСах РБ используют мини-ТЭЦ, работающие на местных видах топлива. Следует отметить, что в Швеции на протяжении десятилетий перерабатывается 99% твердых отходов и только 1% направляется на захоронение.

В РБ развитие биогазовых технологий находится на начальном уровне. По состоянию на 2018 г. в РБ эксплуатируется 21 биогазовая энергетическая установка мощностью 27 МВт. В [3] приведен анализ биогазового потенциала РБ и выбрано 12 потенциальных площадок для строительства БК мощностью 15,9 МВт. Суммарные капитальные затраты на реализацию 12 потенциальных БК 56,8 млн. евро без НДС. Для примера приведены показатели инвестиций в ОАО “Щорсы” в Новогрудском районе с мощностью 1,274 МВт. Показано, что динамический срок окупаемости проекта составляет 9 лет при ставке дисконтирования по проекту 9% и повышающему коэффициенту на продажу электроэнергии в сеть Белэнерго в первые 10 лет $K=1,10$ и последующие 10 лет $K=0,45$ (индекс рентабельности 1,4). Для реализации данных проектов необходимо проводить аукцион инвесторов.

В заключение следует отметить, что развитие технологий ВИЭ, особенно биогазовых в АПК, необходимо проводить независимо от ввода АЭС в РБ.

Список использованных источников

1. Коротинский В.А. Энергосберегающие технологии в АПК – Минск: БГАТУ, 2014-142с.
2. Биогаз и биомассы: последние тренды в биоэнергетике ЕС / Энергоэффективность, №6, 2019, с. 4-7. сайт: www.iec-energy.by
3. Чернышев А.М. Итоги изучения международного финансового корпорацией биогазового потенциала в Республике Беларусь // Энергоэффективность, №6, 2019, 18-21с.

Коротинский В.А., к.т.н., доцент
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь
ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ БИОГАЗОВЫХ
КОМПЛЕКСОВ В ШВЕЦИИ

Сельское хозяйство Швеции отличается высокой продуктивностью. Его основным направлением считается мясомолочное животноводство. Здесь занимаются разведением крупного рогатого скота, свиней, на севере разводят оленей. В сельском хозяйстве занято только 3% работающего населения страны, но эта отрасль высокоразвита и механизирована, ее продукции хватает не только для самой Швеции, но и для экспорта. Основу этой отрасли составляют крупные предприятия, которые обеспечивают свыше 90% потребностей страны в продовольствии.

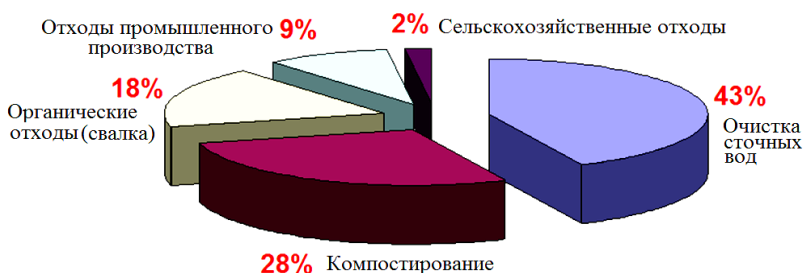


Рис.1 Структура основных биогазовых установок в Швеции [3]

Утилизация отходов производства осуществляется на специальных предприятиях, связанных с получением биогаза (рис.1).

В Швеции, биогаз начали производить на муниципальных очистных сооружениях с 1960-х годов. Основным стимулом было желание сократить объемы шлама. Тем не менее, нефтяной кризис 70-х годов изменил отношение к ископаемому топливу, что привело к исследованиям и разработкам биогазовых технологий и строительству новых заводов с целью снижения экологических проблем и зависимости от нефти.

Промышленность начала действовать первой; сахарные и целлюлозные заводы начали использовать анаэробное брожение для очистки сточных вод в 1970-х и 1980-х годах. В 1980-х годах, несколько установок на полигонах приступили к сбору биогаза, который производился на их очистных сооружениях. Эта деятельность быстро расширилась 1990-х годах.

Структура потребления энергии в Швеции, начиная с 1970 г., остается на одном уровне 420-430 тыс. ГВт·ч, меняя соотношение составляющих: потребление натурального газа снизилось в 3 раза, развитие биоэнергетики – увеличение в 5 раз [1].

Основная часть биогаза очищается и обогащается до стандартов качества топлива транспортных средств (97%, наивысший показатель в ЕС), другая позволяет использовать его для производства теплоты и электрической энергии. Обогащение и очистка биогаза для автомобильного топлива из года в год увеличивается. В результате долгосрочной стратегии, Швеция имеет очень высокий процент (более 64%) биогаза в общем количестве газа, который используют транспортные средства, по сравнению с остальным миром.

Реактор, который также называется автоклавом (гаражным модулем), и в котором происходит процесс производства биогаза, является особенностью шведских специальных конструкций биогазовых установок (рис.2). Биогаз собирается в верхней части реактора, в то время как субстрат, как правило, оказывается снизу. Шлак удаляют путем откачивания в контейнеры для хранения. Одноступенчатый реактор имеет самый простой и распространенный дизайн. Все стадии разложения происходят одновременно и в том же контейнере. В двухступенчатом реакторе процесс происходит в два последовательных этапа. Гидролиз и брожение происходит в первом реакторе. Остаток или фильтрат из первого реактора затем подают во второй реактор, который специально разработан для добычи метана. Например, он может быть сконструирован в виде анаэробного фильтра с встроенными носителями, на котором могут быть расположены микроорганизмы для лучшего роста. Это часто приводит к быстрому и эффективному производству биогаза с содержанием метана до 85%.

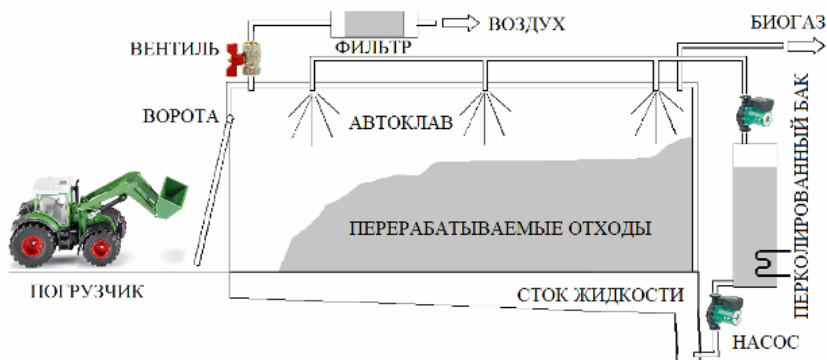


Рис.2 Переработка отходов в гаражном модуле

Установка сухого брожения может быть построена с четырьмя или более реакторами, которые называют туннелями, похожими на гаражи (гаражные модули). Туннель должен быть иметь следующие пропорции: высота и ширина 4-6 м, а длина туннеля часто достигает 20-30 м. Дверь должна быть газонепроницаемой. Перед опорожнением туннеля, технологический газ внутри должен быть откачен и пропущен через биофильтр.

Производство биогаза является постоянным процессом, потому что различные туннели, загружаются по отдельности (рис.3). Каждый туннель загружается отдельно через 3-4 дня и имеет оборудование для сбора газа и для вторичной циркуляции фильтрованной воды.

Субстрат загружается и вывозится трактором. Фильтрованная вода хранится в резервуаре и используется для распыления нового субстрата в туннелях.

Температура является важным фактором анаэробного брожения. Процессы производства биогаза как правило, работают при температуре: 37-40°C (мезофильные) или 55 °C (термофильные). Теплота должна подаваться в процессе производства биогаза, так как, в отличие от аэробного компоста, здесь самонагревание не происходит.

Анаэробный процесс может осуществляться с различной степенью содержания воды в субстрате: мокрый, сухой и полусухой в зависимости от процентного содержания сухого вещества (СВ): 2-10% СВ - мокрый процесс; 10-20% СВ - полусухой процесс и 20-35% СВ - сухой процесс.

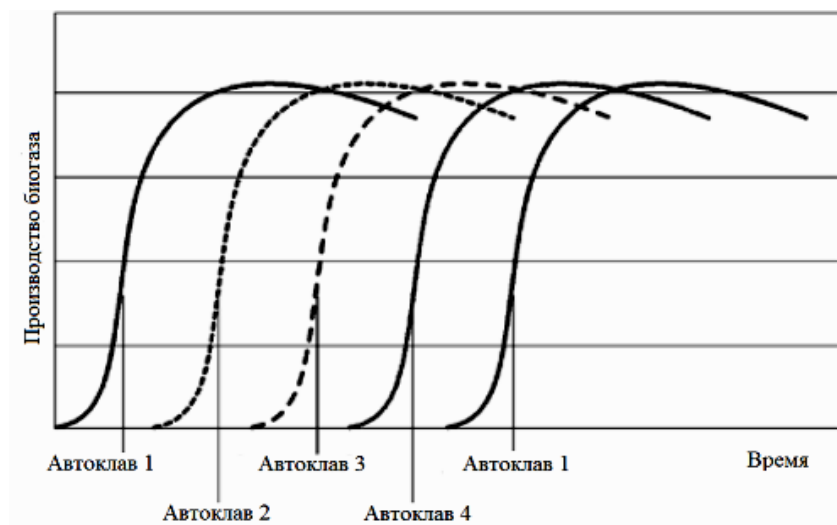


Рис.3 Очередность загрузки гаражных модулей

Для большинства способов применения биогаза, особенно если он будет использоваться в качестве моторного топлива, есть необходимость увеличить энергетическую составляющую, путем удаления диоксида углерода, так называемое обогащение. Вода и загрязняющие вещества, такие как сероводород и твердые частицы, должны быть удалены. Наконец, газ должен быть сжат под давлением около 200 бар, прежде чем он может быть использован.

К общим методам обогащения биогаза можно отнести:

Физическое поглощение, то есть промывка водой является наиболее используемой техникой для модернизации биогаза. Метод основан на том, что углекислый газ быстрее растворяется в воде, чем метан. Особенность этого метода заключается в использовании растворителя, который поглощает углекислый газ более эффективно, чем вода.

Адсорбция давления разделяет различные вещества на основе их молекулярного размера, является еще одним распространенным методом, который используется для обогащения биогаза.

Углекислый газ может быть отделен от метана с использованием криогенной технологии. Этот метод основан на том, что оба газа имеют разные температуры кипения, а это значит, что углекислый газ может быть удален при охлаждении биогаза (минус 162 °C) до жидкого состояния. Сжиженный биогаз имеет преимущества в отношении перевозки, потому что он в три раза плотнее, чем соответствующий газообразный сжатый биогаз. Сжиженный диоксид углерода может быть использован в качестве теплоносителя в пищевой промышленности или в рефрижераторной перевозке.

Экономика производства Шведского биогаза:

Во-первых, строительство биогазовой установки поддерживаются значительными субсидиями от шведского государства, в рамках политики поддержки развития возобновляемых источников энергии и проектов устойчивого развития. Эта поддержка составляет около 30% от общей стоимости.

Во-вторых, биогаз сам по себе имеет большее значение, так как его используют как газ для транспортных средств после определенной очистки или для производства тепловой и электрической энергии.

Основные правила для достижения низкой себестоимости включают в себя: дешевые субстраты и субстраты с высоким выходом энергии, что дает высокое производство газа; удобрения используются в экологическом культивировании; низкая стоимость рабочего времени, обслуживания и анализа.

Биогаз является наиболее экологически чистым топливом для транспортных средств на рынке сегодня. Он дает наименьшее количество выбросов двуокиси углерода и твердых частиц среди всех видов автомобильного топлива на рынке. Выбросы окиси углерода, углеводородов, соединений серы и оксидов азота меньше, чем тогда, когда бензин или дизельное топливо используется в качестве топлива.

Газовый двигатель работает тише и вибрирует меньше, чем дизельный двигатель, что способствует улучшению условий труда для профессиональных

водителей. Биогаз легче воздуха. Если произошла утечка, метан поднимается через воздух. Биогаз имеет более высокую температуру воспламенения, чем бензин и дизельное топливо, что снижает риск пожаров и взрывов при авариях.

Расчеты показывают, что замена ископаемого топлива для транспортного средства на биогаз уменьшает выбросы двуокиси углерода на единицу энергии на 90 % [2]. Выгода может быть удвоена, если биогаз произведли из навоза, так как это уменьшает выбросы метана и двуокиси углерода ископаемого. Снижение измеряется в эквиваленте диоксида углерода и может быть больше чем 180% на единицу энергии.

Использование биогаза в качестве моторного топлива в Швеции постоянно растет. Количество биогазовых заправочных станций увеличивается (в 2012 году их было 136) [3].

Газовый двигатель является экологически чистой альтернативой, которая подходит для тяжелых транспортных средств, в связи с низким потреблением топлива и низким уровнем выбросов оксидов азота, твердых частиц и т.д.

Список использованных источников

1. Джексон К. «Мусорная» политика ЕС: инструменты контроля // Твердые бытовые отходы. 2013. №1. С. 54–54.
2. Adrados A., De Marco I., Lopez-Uribebarrenechea A. et al. Pyrolysis behavior of different type of materials contained in the rejects of packaging waste sorting plants // Waste Management. 2013. V. 33. P. 52–59.
3. Biogas in Sweden. Energigas Sverige – Swedish Gas Association. Global Biomthane Congress 2012.

**Коротинский В.А., к.т.н., доцент, Клинцова В.Ф. ст. преподаватель
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь**

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

24 сентября 2019 г. Президентом Республики Беларусь подписан Указ № 357 «О возобновляемых источниках энергии».[1]

С предстоящим вводом в эксплуатацию Белорусской АЭС одним из важных нововведений является режимное взаимодействие с Белорусской энергосистемой установок ВИЭ установленной электрической мощностью 1 МВт и более, созданных в пределах распределенных после 1 ноября 2019 года квот.

В частности, документом установлено, что при создании новых, а также реконструкция и модернизация действующих установок ВИЭ в рамках распределенных с 2019 года квот будет осуществляться только с использованием нового оборудования, ранее не находившегося в эксплуатации, и применением стимулирующих коэффициентов при оплате поставленной электроэнергии от установок в государственную энергетическую сеть.[2]

Приобретение юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями установок исключительно в целях энергетического обеспечения собственной хозяйственной деятельности предусмотрено без квот и без ограничения в части использования нового оборудования. От таких установок энергосистема обязана принимать излишки электроэнергии с применением стимулирующих коэффициентов (т.е. сверх объемов, необходимых для собственной хозяйственной деятельности).

Еще до принятия указа №357 начали обнаруживаться контракты, заключенные зарубежными инвесторами еще до принятия в Беларуси Указа № 209.

К примеру, договор на строительство солнечной электростанции мощностью 109 МВт, подписанный с ирландцами. Понятно, что у Минэнерго, в задачи которого входит обеспечить реализацию энергии Белорусской АЭС, этот проект вызывает мало энтузиазма. Но другое ведомство – Министерство иностранных дел, ответственное за привлечение зарубежных инвестиций (а речь идет о сумме в 200 млн USD), в реализации этой инициативы очень заинтересовано и спустить проект на тормозах не даст.

Впечатляет не только цена станции, но и ее мощность – 109 МВт! Это действительно очень много. Даже если коэффициент полезного действия панелей будет всего 25%, все равно получится порядка 30 МВт – этого достаточно, чтобы обеспечить энергией, например, Чериковский район. А он, если кто-то забыл или не знал, – один из регионов, пострадавших от аварии на Чернобыльской АЭС, которые определены Президентом в качестве приоритетных для развития. Если здесь появится солнечная электростанция, не придется тянуть от Островца линии электропередач и терять до 10% энергии на транспортировке.

Еще один проект – ветропарк (в него вкладываются турецкие инвесторы) мощностью 25 Мвт, который уже прошел процедуру аукциона через биржу.[3]

В итоге Минэнерго может регулировать эту ситуацию прежде всего через квоты. И оно утвердило их сразу на три года.

Таблица 1 Утвержденные на 2019-2021годы квоты на создание установок по использованию возобновляемых источников энергии.

Вид возобновляемого источника энергии	2019 год	2020 год	2021 год
с использованием энергии биогаза	–	6,0	6,0
с использованием энергии ветра	15,9*	19,8*	–
с использованием энергии солнца	–	–	–
с использованием энергии естественного движения водных потоков	–	7	55,0
с использованием энергии древесного топлива, иных видов биомассы	–	1,5	1,5
с использованием тепла земли и иных источников энергии, не относящихся к невозобновляемым	–	–	20
Итого МВт	15,9	34,3	82,5

У специалистов новые квоты вызвали еще больше вопросов, чем раньше, когда ситуация была неопределенной и все ждали решения отраслевого министерства. Представлены только цифры, но на чем они основаны, профессиональное сообщество альтернативной энергетики и отраслевые инвесторы понять не смогли.

Сравнив утвержденные квоты с квотами прошлых лет, можно сделать заключение:

Таблица 2 Утвержденные на 2016-2018годы квоты на создание установок по использованию возобновляемых источников энергии.

Вид возобновляемого источника энергии	2016 год	2017 год	2018 год
с использованием энергии биогаза	2	15	15
с использованием энергии ветра	10	10	30
с использованием энергии солнца	5	5	5
с использованием энергии естественного движения водных потоков	5	5	72
с использованием энергии древесного топлива, иных видов биомассы	13	13	10
Итого МВт	35	48	132

Заключение:

– квоты имеют явный перекос в сторону «ветра, воды и земли». Квот для солнечной энергетики не выделено. При том, что для инвесторов самый большой интерес сегодня представляют именно такие электростанции, которые в настоящее время дешевы, как никогда. Если оборудование «ветряков» уже не первый год стоит около 1,5 тыс. USD за 1 квт, то цена солнечных батарей не превышает 1 тыс. USD за 1 квт.

– отказ Минэнерго выдавать производителям электрической энергии из возобновляемых источников сертификаты продукции собственного производства, что позволило бы им при наличии в стране рынка электрической энергии продавать энергию не только «Белэнерго» (монополисту, диктующему свои условия), но и непосредственным потребителям, в т.ч. по тарифам ниже белэнерговских.

Список использованных источников

1. Указ № 357 «О возобновляемых источниках энергии» 24 сентября 2019 г.
2. <http://minenergo.gov.by/Биоэнергетика>: (дата обращения 19.10.19г)
3. <https://neg.by/novosti/otkrytj/alternativnaya-energetika> (дата обращения 19.10.19г)

**Коротинский В.А., к.т.н., доцент, Гаркуша К.Э., к.т.н., доцент
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь**

**ОПЫТ ПЕРЕДОВЫХ СТРАН ЕС В ОБРАБОТКЕ ТВЕРДЫХ
БЫТОВЫХ ОТХОДОВ**

Используемые методы обработки отходов в разных странах различаются, однако, за рубежом проблемы в этой области решаются вполне успешно. Так, еще в 2010 т. в 27 странах – членах ЕС 38 % муниципальных отходов были захоронены на полигонах, 22 % – сожжены, 25 % – переработаны в качестве вторичных материальных ресурсов и 15 % – подверглись компостированию. Болгария по-прежнему размещает на полигонах 100 % своих муниципальных отходов. Сжигают отходы чаще всего в Дании (54 %), Швеции (49 %), Нидерландах (39 %) и Германии (38 %).

Переработка в качестве вторичных материальных ресурсов – наиболее распространенный способ обращения с муниципальными отходами в Германии (45 %) и Бельгии (40 %). В Австрии отмечается самый высокий уровень в ЕС переработки и компостирования отходов (70 %) [1]. В Японии все отходы подвергаются рециклингу [2].

В настоящее время в европейских странах активно внедряется технология сбора свалочного газа. Свалочный газ рассматривается как источник чистой энергии для получения электроэнергии, вырабатываемой газовыми двигателями или турбинами.

Сжигание – это также широко распространенный способ уничтожения ТБО. Сжигание бытового мусора, помимо снижения объема и массы, позволяет получать дополнительные энергетические ресурсы, которые могут быть использованы для централизованного отопления и производства электроэнергии. В последние годы в Европе увеличилось количество получаемой энергии из отходов на мусоросжигательных заводах. Так, в ЕС сегодня около 34 % отходов пластика сжигаются на заводах с получением теплоты и электроэнергии, а 24 % – перерабатывается [3].

Характеристики основных пищевых отходов, пригодных для переработки представлены в табл.1 В табл.2 приведены технические характеристики биогазовых станций в ЕС, работающих на пищевых отходах. Большие потенциальные возможности использования биогазовых станций и комплексов существуют в пищевой промышленности в части производства спирта (отходы – зерновая барда).

Себестоимость газа из указанных биогазовых установок составляет приблизительно 15...20 €/тыс.м³.

Таблица 1 Характеристики пищевых отходов по выходу биогаза

Виды отходов		Выход биогаза, м ³ /т	Содержание CH ₄ , %
Коммунальные	биомусор	150-600	58-65
	кухонные	200-500	45-61
	скошенная трава	550-680	55-62
	рыночные	450	62
АПК	жир и остатки жира	250-1300	60-72
	свекольная ботва	200	60-70
	силос кукурузный	200-300	68-75
Производство пива	пивная дробина	150-180	60
Переработка фруктов	яблочный жмых	660-680	65-70
	фруктовый жом	70	56-65
Переработка овощей	картофельная мезга	650-750	52-65
	корнеплодные овощи	100	60-70
Производство алкоголя	зерновая барда	50-70	58-65
Производства сахара	меласса	360-490	70-75
Переработка рыбы	рыбные отходы	300	60-75

Необходимо учитывать, что Регламент ЕС 1774/2002 требует, чтобы отходы животного происхождения обрабатывались при повышенной температуре, так как термическая обработка исключает риск распространения болезней и бактерий. Это, прежде всего, касается отходов 3-й категории (отходы рыбных продуктов, молока), которые необходимо обязательно в течение 60 минут подогревать при температуре не менее 70°C и куски массы должны быть измельчены до размеров меньше 12 мм, и отходов 2-й категории (отходы предприятий общественного питания), которые необходимо обязательно в течение 20 минут подогревать при температуре не менее 133°C в емкости с давлением 3 бар, и куски массы должны быть измельчены до размеров меньше 50 мм.

В процессе получения биогаза, участвуют различные микроорганизмы в сети взаимодействующих процессов, которые приводят к разложению сложных органических соединений, таких как углеводы, жиры и белки на финальные продукты: метан и углекислый газ.

Таблица 2 Основные технические характеристики биогазовых станций

Характеристики	Ед. изм.	Пищевые отходы			Спиртовая барда		
Производительность по переработке сырья	т/сут	160	240	320	200	400	600
Выход биогаза	тыс.м ³ /сут	32	48	64	14	28	42
Потребляемая электрическая мощность	кВт	150	200	250	35	70	90
Потребляемая тепловая мощность (Т=-20°С)	кВт	500	600	900	50	100	150
Обслуживающий персонал	чел	2	2	3	1	2	2
Занимаемая площадь	га	0,75	0,9	1,2	0,80	1,20	1,50
Выход твердых биоудобрений	т/сут	96	144	192	-	-	-
Выход жидких биоудобрений	м ³ /сут	24	36	48	-	-	-

Биогаз, полученный из осадка сточных вод, навоза, отходов сельскохозяйственных культур и пищевых отходов в варочном котле, иногда называют *канализационным газом*. Он обычно имеет относительно невысокое содержание метана (не менее, 55%).

Газ совместного брожения означает, что различные субстраты поддаются процессу сбраживания одновременно, например, отсортированные пищевые отходы или отходы забойного цеха вместе с навозом и осадком сточных вод. По сравнению с брожением осадка из очистных сооружений, процесс совместного брожения обычно приводит к получению биогаза с большим содержанием метана.

Свалочный газ. Газ, который добывают из полигонов, и имеет наименьшее содержание метана (45-55%), потому что добыча метана со свалочной массы не контролируется и не оптимизируется таким же образом, как это происходит в реакторе. Производство метана на свалках – это медленный процесс, который может продолжаться в течение 30-50 лет.

Сжиженный биогаз – это сжиженный природный газ, полученный охлаждением и сгущением метана. Биогаз конденсируется при температуре от -162 °С и содержит больше энергии на единицу объема, чем биогаз в газообразной форме. Это позволяет более эффективно транспортировать

биогаз, что в свою очередь помогает решить проблемы, связанные с логистикой и распределением биогаза.

Биометан – это общее название для газа, который состоит в основном из метана, и может быть получен из биологического материала, например, путем анаэробного брожения или термической газификации. Конечный продукт, полученный при термической газификации, в сочетании с метанированием и кондиционированием, называют синтетическим природным газом (*синтезгаз*). Его получают путем разложения богатых углеродом материалов при нагревании.

Утилизация отходов на современном этапе предъявляет неуклонно растущие требования к технологиям. Гидромеханическая переработка отходов – это наиболее эффективный и экономичный путь в этом направлении. В 1984 году немецкая компания *BTA International GmbH* начала разработку методов гидромеханической переработки коммунальных отходов, которые на современном этапе используются более чем в 30 странах мира.

Сущность технологии заключается в том, что с помощью подъемных и рассекающих сил легкие, не поддающиеся брожению примеси, такие как пленка и древесина, а также тяжелые инертные материалы, такие как камни, металлы и стекло, удаляются из смеси отходов практически полностью. Органические составные вещества, поддающиеся брожению, образуют легко разлагающуюся суспензию для выработки биоэнергии. Данная технология является ключевой технологией для переработки смешанных отходов городов в комбинации с выработкой биогаза в результате анаэробного сбраживания. В противоположность хранению отходов на свалках, когда происходит неконтролируемое выделение метана, представляющего угрозу для климата, данная технология дает возможность разумно и экономично использовать биоэнергетический потенциал отходов.

Итак, основная задача биогазовых комплексов связана с обогащением биогаза до получения биометана. Наибольшее использование биометан находит в автомобильной технике и автотранспорте (более 50 %, автомобили, автобусы и тяжелая техника). Для этой цели используется сжатый и жидкий биометан. Газообразный метан в чистом виде для нужд автотранспорта не используется.

Обогащенный газообразный биометан с биогазовых заводов добавляется в магистральные газовые сети природного газа. При этом, он легко может быть передан на большие расстояния без существенных издержек и потерь. На месте его поступления может быть установлена когенерационная установка (агрегат ГПА), которая, таким образом, даст возможность иметь в распоряжении потребителя: тепловую и электрическую энергию, и одновременно использовать газ по прямому назначению.

Применение абсорбционных холодильных машин, использующих тепловую энергию ГПА, позволит дополнительно получить системы охлаждения и кондиционирования на объектах, что очень актуально для использования в агрогородках в Республике Беларусь.

Список использованных источников

1. Джексон К. «Мусорная» политика ЕС: инструменты контроля // Твердые бытовые отходы. 2013. №1. С. 54–54.
2. Тихоцкая И.С. Япония: Инновационный подход к управлению ТБО // Твердые бытовые отходы. 2013. №6. С. 52–57.
3. Adrados A., De Marco I., Lopez-Uriónabarrenechea A. et al. Pyrolysis behavior of different type of materials contained in the rejects of packaging waste sorting plants // Waste Management. 2013. V. 33. P. 52–59.

**Ладыко Р.И., магистрант, Андрианов В.М., д.ф.-м.н.
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь**

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ
ГЕЛИОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ
ФОКУСИРУЮЩИХ КОНЦЕНТРАТОРНЫХ СИСТЕМ**

Ключевые слова: вакуумный солнечный коллектор, концентраторные системы, параболический рефлектор.

Аннотация: В статье рассматривается способ повышения эффективности солнечных установок с вакуумными коллекторами с помощью концентраторных параболоцилиндрических систем. Определены проблемы, связанные с данной тематикой и способ их решения.

Основная часть. В основе конструкции вакуумированного (вакуумный) трубчатого солнечного коллектора заложена трубчатая система изоляции медного абсорбера. Теплоизолирующим материалом в таком коллекторе служит вакуум, который сводит общие тепловые потери коллектора к минимуму и обеспечивает его высокий и стабильный коэффициент полезного действия (КПД) даже при слабом рассеянном солнечном излучении в облачный день, а также при отрицательной температуре наружного воздуха. К недостаткам таких коллекторов можно отнести низкую надежность, небольшую площадь абсорбера, а также большую массу и габаритные размеры.

Для повышения эффективности их работы возможно применение фокусирующих концентраторных систем. Одними из разновидностей таких систем являются параболоцилиндрические концентраторы, имеющие форму параболы, протянутую вдоль прямой. Параболоцилиндрический зеркальный концентратор фокусирует солнечное излучение в линию и может обеспечить его стократную концентрацию. Он обладает свойством фокусирования волнового фронта, приходящего в фазе параллельно основной оси, в одной фокальной точке, в которой установлен блок головки, облучающий зеркало. Любые волны, которые приходят под углами, отличающимися от направления, параллельного основной оси, или так назы-

ваемого равносигнального направления, отражаются таким образом, чтобы полностью миновать фокальную точку.

Параболические технологии зарекомендовали себя на практике надежными системами и показали низкую стоимость и быструю окупаемость проекта в сравнении с другими методами. Преимущества параболических концентраторов заключаются в том, что при правильном подборе ориентации и угла наклона возможно избежать использования систем слежения. Кроме того, они способны принимать рассеянное солнечное излучение.

Применение солнечного концентратора совместно с вакуумным коллектором позволяет в десятки раз увеличить количество солнечной энергии, которая попадает на вакуумную трубку, и, как результат, уменьшает их количество, а, следовательно, и вес, габаритные размеры и стоимость самой системы.

На рис.1 (а) показан ход лучей в конструкции симметричного концентратора, где поверхность покрыта отражающим материалом.

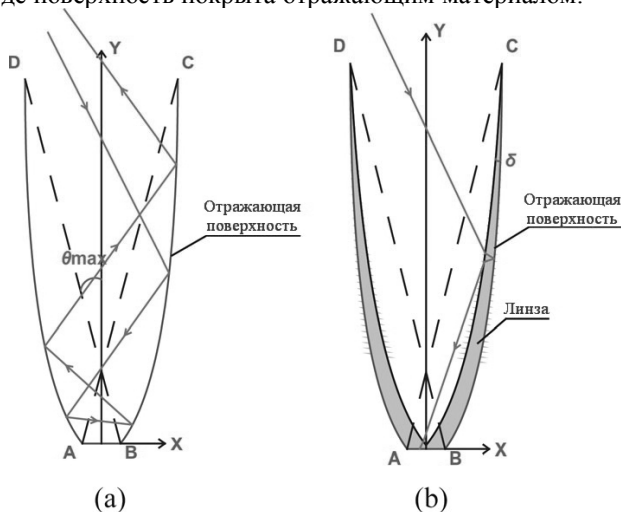


Рисунок 1 – Параболический концентратор:
а) симметричный, б) линзовый.

Исследования показывают, что солнечная радиация преимущественно лежит в пределах $\pm 35^\circ$ северно-южного проектируемого угла падения к нормальной апертуре концентратора и еще меньше для мест с более высокой широтой. Концентраторная система сможет собрать около 85%, а для мест с более высокими широтами – около 75% ежегодного солнечного излучения. Недостатком такой системы является более высокий уровень оптических потерь из-за отражения света, которое растет с углом падения света и увеличивается в утренние и вечерние часы. Кроме того, существуют и

другие общие для всех структур потери, такие как неидеальная отражательная способность зеркал, несовершенное поглощение света в поглотителе. Применение концентратора, покрытого диэлектриком, может дать больший апертурный угол, но он имеет большой вес и более подвержен старению.

В работе предлагается конструкция параболического концентратора со встроенной в ветви параболы (D, C) тонкой собирающей линзой (рис.1 (б)). Данная конструкция позволит увеличить концентрацию солнечной радиации на абсорбере. Это происходит из-за преломления луча в линзе и зеркального отражения отражающей поверхности. В результате свет направляется под увеличенным углом падения на теплоноситель (AB) у основания линзового параболического концентратора.

Заключение. Использование концентраторов в солнечных установках позволяет повысить в сотни раз плотность энергии солнечной радиации, а, следовательно, и температуру теплоносителя в случае теплового преобразования энергии. Применение линзового параболического концентратора позволит увеличить концентрацию солнечной радиации, что положительно скажется на производительности установки.

Таким образом, внедрение фокусирующих концентраторных систем позволяет улучшить технико-экономические показатели гелиоэнергетической системы.

Мирончук В.И., исследователь в области тех. наук,
Вельченко А.А., к.т.н., доцент, **Андрианов В.М.,** д.ф.-м.н.,
УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь

АЛГОРИТМ РАСЧЕТА СОЛНЕЧНОЙ ТРАЕКТОРИИ В ТЕЧЕНИИ ДНЯ ДЛЯ НЕСКОЛЬКИХ ОБЛАСТНЫХ ЦЕНТРОВ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Ключевые слова: диаграмма солнечной траектории, солнечное склонение, азимут Солнца, угол положения Солнца над горизонтом

Аннотация: В работе рассматривается алгоритм расчета для анализа свойств Солнца в течении дня и построение диаграммы солнечной траектории для 4-х областных центров в Республике Беларусь.

Основная часть. Солнце является мощнейшим регенеративным источником энергии и центральным небесным телом нашей звездной системы. Значения интенсивности излучения на Земле обычно ниже значения в открытом космосе. Это связано с потерями излучения, которые происходят при прохождении через атмосферу. Для многочисленного вычисления интенсивности солнечного излучения большое значение имеет значение

На рис. 1 изображена Земля с земной осью, вокруг которой она обращается за 24 часа. Земная ось перпендикулярна экваториальной плоскости Земли. Поверхность Земли характеризуется двумя основными величинами: географической широтой φ , величина которой положительна для точек, лежащих северней экватора (0° до 90°) и отрицательна – для точек, лежащих южнее экватора (0° до -90°); географической долготой ψ .

северном полушарии δ плавно изменяется от $\delta_0 = +23,5^0$ в период летнего солнцестояния до $\delta_0 = -23,5^0$ в период зимнего солнцестояния, т.е. в течении года находится в диапазоне $23,5 \geq \delta \geq -23,5$. Склонение Солнца можно посчитать по формуле Купера:

$$\delta = \delta_0 \sin[360^0(284+n)/365],$$

где n – день года ($n=1$ соответствует 1 января).

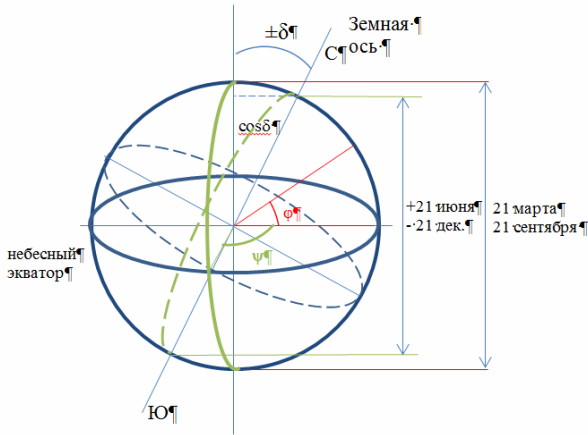


Рисунок 1 – Движение Земли вокруг своей оси в космосе:
 δ – склонение Солнца, С – северный полюс, Ю – южный полюс,
 φ – географическая широта, ψ – географическая долгота.

На основании географической широты местности и часового угла рассчитывается угол положения Солнца над горизонтом γ_{Σ} и азимутом солнца a_c :

$$\gamma_c = \arcsin(\cos \omega \cdot \cos \varphi \cdot \cos \delta + \sin \varphi \cdot \sin \delta); \quad (1)$$

$$a_c \begin{cases} 180^0 - \arccos \frac{\sin \gamma_c \cdot \sin \varphi - \sin \delta}{\cos \gamma_c \cdot \cos \varphi} & \text{для } T_{\text{полд.}} \leq 12:00 \text{ ч.} \\ 180^0 + \arccos \frac{\sin \gamma_c \cdot \sin \varphi - \sin \delta}{\cos \gamma_c \cdot \cos \varphi} & \text{для } T_{\text{полд.}} \geq 12:00 \text{ ч.} \end{cases} \quad (2)$$

где $T_{\text{полд.}}$ – истинный полдень берется из графика изменения уравнения времени; ω – часовой угол Солнца,

На основании представленного расчета по выражениям 1 и 2 достаточно трудно провести анализ свойств Солнца в течении дня. Поэтому представим в виде диаграммы солнечной траектории зависимость угла положения Солнца над горизонтом от азимута Солнца для дня зимнего солнцестояния (21 декабря) в 4-х областных центрах (г. Минск, г. Брест, г. Гомель, г. Витебск), как дополнительный параметр на графике указано время суток.

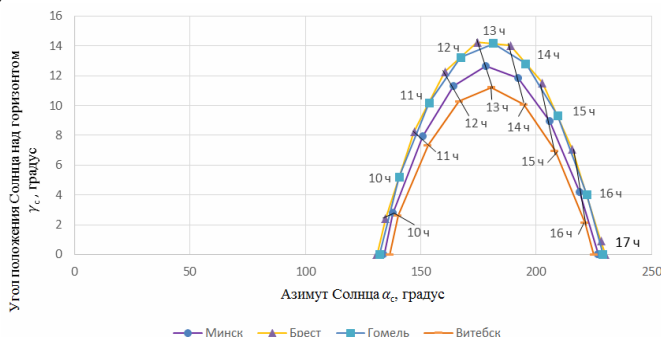


Рисунок 2 – Диаграмма солнечной траектории для 4-х областных центров РБ (21 декабря)

На рис.2 рассмотрено сравнение солнечной траектории для 4-х городов РБ, где самые минимальные значения имеет г. Витебск. Несколько выше на графике находится солнечная траектория г. Минска, а для г. Гомеля и г. Бреста солнечные траектории расположены близко между собой. Из рис. 2 следует, что угол γ_c незначительно отличается от времени суток в г. Гомеле, г. Минске, г. Витебске. Для г. Бреста γ_c существенно больше, чем для других областных центров РБ для аналогичного времени суток.

Заключение. Самая низкая солнечная траектория наблюдается в г. Витебске. Это свидетельствует о том, что данный областной центр имеет по сравнению с другими областными центрами РБ более низкую интенсивность солнечного излучения. Это связано с тем, что чем меньше угол положения Солнца над горизонтом, тем больше путь солнечного излучения через атмосферу Земли, следовательно, и увеличиваются потери интенсивности солнечного излучения в атмосфере.

Пашинский В.А. к.т.н., доцент, Бутыко А.А.
Международный государственный экологический институт
им. А.Д. Сахарова БГУ, г. Минск
СРЕДНЕСРОЧНЫЕ И ДОЛГОСРОЧНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
СУММАРНОЙ, ПРЯМОЙ И РАССЕЯННОЙ СОЛНЕЧНОЙ
РАДИАЦИИ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

С учетом природных, географических и метеорологических условий Республики Беларусь, одним из направлений увеличения доли производства первичной энергии из возобновляемых источников энергии к валовому потреблению ТЭР на 1 процент (с 5 процентов в 2015 году до 6 процентов в 2020 года), в соответствии с Государственной программы «Энергосбережение» на 2016-2020 годы (утвержденной постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 28.03.2016 № 248), является развитие солнечной энергетики.

Среднее годовое количество суммарной солнечной радиации за период 2007–2015 г.г. по данным ГУ «Республиканский гидрометеорологический центр» составляет 3869,48 МДж/(м²·год) их них: на весенние месяцы приходится 1317,97 МДж/(м²·год), что составляет 34,1 %; на летние месяцы 1755,63 МДж/(м²·год)– 45,4 %; на осенние месяцы 563,63 МДж/(м²·год) – 14,6 %, на зимние месяцы 232,25 – 6,0 %. Поступление солнечной радиации имеет правильный годовой ход при котором максимальное количество солнечной радиации приходится на июнь-июль – 633,40–629,91 МДж/(м²·месяц), минимальное количество на декабрь – 39,78 МДж/(м²·месяц). Вклад рассеянной солнечной радиации в годовой сумме суммарной солнечной радиации составляет 50,1 %, что составляет 1880,8 МДж/(м²·год). На весенние месяцы доля рассеянной солнечной радиации – 48,5 %; летние месяцы – 46,5 %; осенние месяцы – 55,3 %; зимние месяцы – 72,5 %.

Средние месячные значения математического ожидания $\bar{X}$, минимального значения min , максимального значения max , стандартного отклонения S , среднеквадратического отклонения σ , коэффициенты асимметрии A , эксцесса K , вариации c_v суммарной солнечной радиации представлены в таблице 1.

Таблица 1. Статистическая обработка значений суммарной солнечной радиации

месяц	$\bar{x}$	min	max	σ	s	A	K	c_v
I	69,2	50,1	98,8	18,41	5,82	0,47	-1,49	0,27
II	123,3	94,1	176,3	26,98	8,53	0,94	-0,07	0,22
III	295,0	242,7	363,7	43,51	13,76	0,37	-0,92	0,15
IV	460,5	375,1	593,3	59,89	18,94	1,09	2,02	0,13
V	562,5	469,5	619,6	50,80	16,06	-0,72	-0,62	0,09
VI	633,4	556,1	717,2	53,01	16,76	-0,03	-0,94	0,08
VII	629,9	515,5	731,2	57,13	18,07	-0,28	1,51	0,09
VIII	492,3	344,7	603,8	78,02	24,67	-0,30	-0,04	0,16
IX	327,7	288,1	378,5	34,84	11,02	0,18	-1,80	0,11
X	173,7	126,2	241,4	39,70	12,56	0,66	-0,70	0,23
XI	62,3	48,4	84,6	12,43	3,93	0,52	-0,90	0,20
XII	39,8	20,0	58,7	11,86	3,75	-0,04	-0,64	0,30

По результатам исследования с целью определения суточных сумм рассеянной солнечной радиации получен набор следующих уравнений:

$$H_D = H_{(p)} \cdot \begin{cases} 0,999 & K_T \leq 0,17 \\ -0,5792K_T^2 - 0,9643K_T + 1,2111 & 0,17 \geq K_T > 0,75 \\ -0,0318K_T + 0,2619 & 0,75 \geq K_T > 0,8 \\ 4,4082K_T - 3,3433 & K_T \geq 0,8 \end{cases}$$

где $H_{(p)}$ – суммарная солнечная радиация, МДж/(м²·сут.); H_D – рассеянная солнечная радиация, МДж/(м²·сут.); $K_T = H_{(p)}/H_0$ – индекс ясности атмосферы, характеризует отношение фактической суммарной солнечной радиации поступающей на земную поверхность $H_{(p)}$ к солнечной радиации, поступающей на верхнюю границу атмосферы H_0 .

Достоверность аппроксимации предложенных уравнений (при количестве аргументов в выборке $n = 2888$) между измеренными и рассчитанными значениями поступления рассеянной суммарной солнечной радиации составляет $R^2 = 0,859$ (рисунок 1), значение F-статистики равна 17613 при уровне значимости $p < 0,000$. MAD – 0,88 МДж/(м²·сутки), MSE – 1,90 МДж/(м²·сутки); RMSE – 1,38 МДж/(м²·сутки); MAPE – 15,57 %.

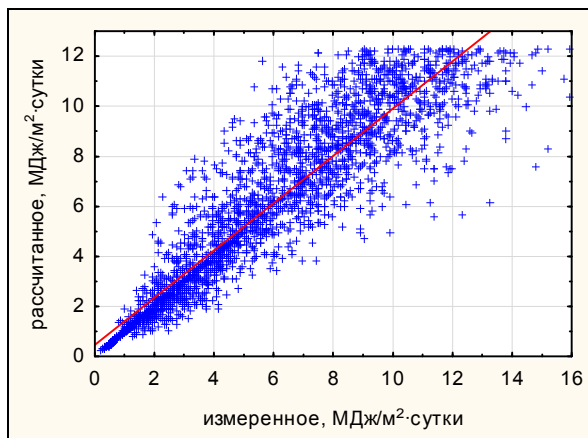


Рисунок 1. Измеренное и расчетное значение рассеянной солнечной радиации за период 2007–2015 г.г. по ОМН Минск

Предложенная статистическая модель оценки поступления суммарной, прямой и рассеянной солнечной радиации с учетом суточной изменчивости позволяет восполнить существующий пробел в содержании действующих нормативно-технических документов, и может быть востребована при решении широкого спектра практических задач.

Список использованных источников

1. Рекомендации по технико-экономическому обоснованию применения нетрадиционных солнечных и солнечно-теплонасосных систем теплохладоснабжения на гражданских и промышленных объектах. — М., 1987 г., 53 с.

**Русан В.И. д.т.н., профессор, Сычик В.А. д.т.н., профессор
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь
РЕЧНАЯ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ**

Для использования энергии малых рек находят применение гидроэлектростанции [1-3], в состав которых входят плотина, обводной канал-водовод с водозаборником, где размещены турбины установленные на домкратах электрогенераторов, кинематически связанных с турбинами. Обводной канал покрыт бетонными плитами.

К недостаткам речных электростанций указанной структуры следует отнести: сложная и громоздкая конструкция, сравнительно низкий КПД и сложная система передачи вращения от гидротурбины к электрогенератору.

Нами создана конструкция речной бесплотинной электростанции с вращательным водяным потоком, которая обладает достаточно простой конструкцией и высоким КПД.

Речная электростанция (РЭС) конструктивно содержит корпус цилиндрической формы с размещенной внутри его гидротурбиной. Корпус с гидравлическим аккумулятором неподвижно установлен в земляном или бетонном основании. Гидротурбина посредством вала кинематически связана с электрогенератором. Речная электростанция также содержит водозаборник в форме корытообразной прямоугольной призмы, который снабжен шлюзовым отсеком и обводным каналом-водоводом, содержащим не менее двух магистралей цилиндрической формы, сопряженных с соплами эллипсообразной формы.

Корпус РЭС выполнен цилиндрической формы из высокопрочного, устойчивого к химическим средам материала, например из чугуна, железобетона, керметных материалов. Диаметр корпуса выбирается с учетом требуемых гидроэнергетических параметров водяного потока, размеров гидротурбины, номинальной мощности РЭС и может составлять величину 2...10 метров.

Гидротурбина стандартного типа с вертикальным расположением лопастей размещена вертикально в верхней части корпуса РЭС на подшипниках – опорах требуемых габаритов и мощности. На шейке вала гидротурбины может быть размещен гидравлический метатель, который выполнен в виде сегнерова колеса, что дополнительно повышает крутящий момент на валу гидротурбины, то есть ее мощность. Выше гидротурбины на корпусе РЭС размещены выпускные сопла выше уровня речной воды, через которые осуществляется слив прошедшего через гидротурбину водяного потока в сливной канал.

При размещении РЭС на малой реке с достаточно высокими берегами в водозаборнике накапливается уровень речной воды и создается по уровню водовода водяной напор. Объем воды, протекающей через сечение S водовода находится из выражения $V = SUt$, а объемный расход воды через водовод

$$Q = V/T = SU. \quad (1)$$

В выражении (1) U – скорость течения воды из водозаборника в водовод; t – время истечения жидкости. Вытекающая из водовода сечением S вода равномерно распределяется по сопряженным с водоводом магистралям и затем поступает в сопла.

С учетом уравнения неразрывности струи:

$$V_M S_M = V_C S_C, \quad V_C = V_M S_M / S_C, \quad (2)$$

где V_M , V_C – скорость потока воды на выходе магистрали и на выходе сопла; S_M , S_C – сечение магистрали и сопла на его выходе, скорость истечения водяного потока в корпусе РЭС достигает десятков метров в секунду. Вследствие тангенциального размещения сопел происходит преобразование поступательного движения водяного потока в цилиндрическом

корпусе во вращательное. Получив от гидравлического аккумулятора вращательно – поступательные движения вращающийся водяной поток в цилиндрическом корпусе воздействует на лопатки гидротурбины, заставляя ее вращаться с заданной скоростью. Вал гидротурбины приводит во вращение ротор электрогенератора с требуемой скоростью, которая при необходимости корректируется редуктором. Происходит непрерывная выработка электрической энергии электрогенератором. Избытки накопленной в водозаборнике речной воды по сверхдопустимому уровню непрерывно отводятся шлюзом в продолжение русла реки.

В результате того, что корпус РЭС цилиндрической формы смонтирован вертикально, снабжен гидравлическим аккумулятором в виде пустотелого конуса, сопряженного большим основанием с пустотелой замкнутой полусферой, при этом водовод содержит не более двух магистралей цилиндрической формы, сопряженных с соплами эллипсообразной формы и сужающимися по пологой экспоненте, а сопла размещены концентрично по корпусу и расположены тангенциально по вертикали большей эллиптической осью, решается поставленная техническая задача: в сравнении с электростанциями-аналогами упрощается конструкция речной электростанции, повышается ее КПД, оптимально используется энергия малых рек.

Разработан лабораторный макет речной электростанции, который, как показали результаты лабораторных испытаний, эффективно использует гидравлическую энергию малых рек.

Созданная речная электростанция, ширина водозаборника которой составляет 20 метров, высота 3 метра, диаметр магистралей $\varnothing = 2$ метра и большая ось эллиптического сечения сопел составила 1,5 метра позволяет генерировать энергию 300...800 кВт, при этом ее КПД более чем в 1,5 раза превышает КПД речных электростанций – аналогов.

Промышленное освоение предлагаемой речной электростанции возможно на предприятиях гидротехнического строительства и энергетики.

Список использованных источников

1. Авт. свид. СССР 1300188, МКИ⁴₁ F₀₃ В 13/12.
2. Патент США 4104536, МКИ⁴₁, F₀₃ В 13/00.
3. Авт. свид. СССР 1798531, МКИ⁵₁, F₀₃ В 13/00.

Селюк Ю.Н., ст. преподаватель
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь
КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ
ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Одной из причин ограниченного использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) является неравномерность поступления энерге-

тических потоков, что во многих случаях создает существенные осложнения и не обеспечивает требуемые параметры и качество энергоснабжения потребителей. Кроме того, в процессе широкого внедрения оборудования возобновляемой энергетики обостряется проблема создания регулирующих мощностей на основе традиционных энергосистем и энергоисточников для обеспечения стабильного энергоснабжения в периоды отсутствия энергии возобновляемых источников.

Высокие технико-экономические показатели применения возобновляемых источников энергии, стабильные рабочие параметры энергетического оборудования и надёжное энергоснабжение потребителей могут быть достигнуты главным образом при комбинированной выработке и комплексном аккумулировании тепловой и электрической энергии за счет сочетания ВИЭ между собой. Создание эффективных комплексных энергосистем (КЭС) с использованием различных аккумуляторов энергии позволяет повышать эффективность энергоиспользования ВИЭ на 30...50%, улучшает параметры выработанной энергии и обеспечивает стабильность энергоснабжения [1]. Современные технологии и оборудование, а также методы рационального проектирования ВИЭ, основанные на комплексном использовании разных видов источников и аккумуляторов энергии, фактически ликвидируют возможные препятствия к их широкомасштабному использованию в различных отраслях АПК.

Основные задачи при создании комплексных энергосистем на основе возобновляемых источников энергии – обеспечение их надежными и эффективными аккумуляторами энергии, а также создание оборудования для автоматического управления режимами работы КЭС и поддержания необходимых параметров энергоснабжения.

Оптимальное соотношение отдельных элементов в комбинированных энергетических системах на основе ВИЭ определяется с учетом многих факторов, влияющих на работу таких энергосистем.

Использование возобновляемых источников энергии в конкретных КЭС обуславливается следующими факторами:

- уровнем обеспечения региона традиционными и нетрадиционными источниками энергии с учетом их потенциала;
- климато-метеорологическими условиями;
- структурой существующих систем энергоснабжения и энергопотребления;
- требованиями к качеству электрической и тепловой энергии;
- видом и количеством потребляемой энергии;
- требованиями к почасовому графику энергоснабжения;
- экономическими и экологическими факторами.

Наиболее эффективным применением комбинированных энергосистем на основе ВИЭ является использование их в сельскохозяйственных комплексах, фермерских хозяйствах, жилых и садовых домах, расположенных на значительном удалении от существующих систем энергоснабжения.

Задача выбора состава и параметров оборудования КЭС с использованием ВИЭ является нелинейной многокритериальной оптимизационной, решение которой может выполняться в три этапа [2].

На первом этапе (подготовительном) анализируются:

- состав и технические характеристики потребителей объекта энергоснабжения;
- поступление ресурсов ВИЭ в географическом районе расположения объекта;
- технические характеристики источников энергии и возможность использования поступающих энергетических ресурсов.

На втором этапе (оптимизации) выбираются:

- виды возобновляемых энергетических ресурсов, использование которых в районе расположения объекта потенциально эффективно;
- тип и количество установок на основе ВИЭ, использование которых в данном районе энергетически целесообразно;
- номинальные характеристики и количество энергоаккумулирующих установок;
- тип, мощность и количество существующих энергоустановок, работающих на традиционных энергоресурсах (при необходимости).

На третьем этапе выполняется обоснование инвестиций. Если выбранный состав источников оценивается как экономически неэффективный, следует рассмотреть другой вариант состава источников, энергетические характеристики которого наиболее близки по своим численным значениям к характеристикам предыдущего варианта. В случае полного отсутствия оптимальных решений (несоответствия экономических характеристик состава источников предъявляемым требованиям) необходимо использовать дополнительные исходные данные или другие критерии оптимизации.

Расчет мощности конкретной энергоустановки на основе ВИЭ в единичном интервале времени выполняется с помощью математической модели установки соответствующего типа.

Использование указанной модели позволяет определенной точностью определить энергетические характеристики для различных режимов работы установки. Кроме того, данные модели позволяют выполнять синтез и оптимизацию комбинированных энергоустановок с использованием ВИЭ при помощи различных математических методов.

Список использованных источников

1. Кундас, С.П. Возобновляемые источники энергии: монография / С.П. Кундас, С.С. Позняк, Л.В. Шенец. – Минск : МГЭУ А.Д. Сахарова, 2009. – 315 с.
2. Лукутин, Б.В. Возобновляемые источники электроэнергии: учебное пособие / Б.В. Лукутин. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 187 с.

**Стручаев Н.И. к.т.н., доцент, Постол Ю.А., к.т.н., доцент,
Гулевский В.Б., к.т.н., доцент
Таврический государственный агротехнологический университет
имени Дмитрия Моторного, Украина
КОМПАКТНЫЙ БИОГАЗГЕНЕРАТОР**

В настоящее время наметилась тенденция рационального использования отходов сельскохозяйственного производства и утилизации энергии биомассы, в виде биогаза [1]. Производство биогаза в фермерской усадьбе требует небольших капиталовложений и быстро приносит полезный результат.

Вопросам получения биогаза посвящено множество исследований [1,2,3], однако конструктивные решения в основном нацелено на изготовление крупных биогазовых установок с суточной загрузкой более 80 т [1]. В то же время для получения биогаза достаточно обеспечить условия сбраживания поддерживая наэробную среду, температурный, кислотный (рН) режимы и давление [2].

Предложенная нами конструкция биогазгенератора, состоит из основного резервуара для анаэробной ферментации, загрузочной трубы, резервуара для создания гидравлического давления, сборника газа и газовой трубки (рис.1).

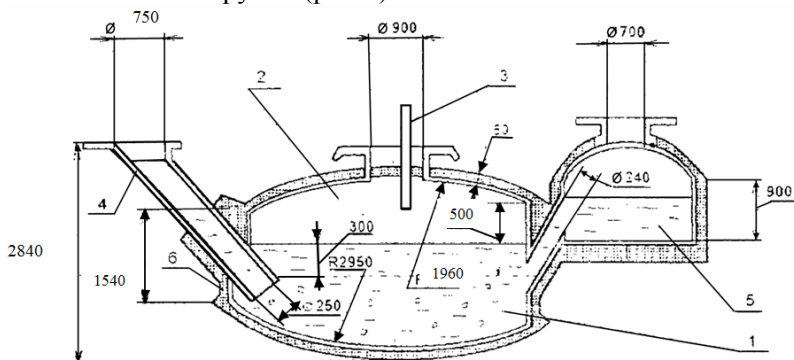


Рисунок - 1 Схема биогазгенератора: 1 - ферментируемая масса, 2 - сборник газа, 3 - газовая трубка, 4 - загрузочная труба, 5 - резервуар для создания гидравлического давления, 6 - основной резервуар.

Сооружают биогазгенератор под землей, ниже уровня промерзания почвы. Расчет теплоизоляции выполняют по стандартной методике [4]. После сооружения, герметизации биогазгенератора и прокладки газопроводной трубы можно приступать к его первичной загрузке. Стебли растений необходимо измельчить до 3...5 см,

а стебли кукурузы должны быть не только измельчены, но и расплющены.

Загрузку осуществляют в соответствии с ферментативной концентрацией и углеродным соотношением (Таблица 1).

Таблица 1. Количественное соотношение компонентов для загрузки в биогазогенератор

Сырьевой материал	Весовое соотношение	Консистенция, %	
		Материал, кг	Вода, кг
Свежий свиной навоз + пшеничная солома	4,5 : 1	163 : 36	501
Свежий свиной навоз + кукурузные стебли	2,95 : 1	133 : 45	822
Свежий коровий навоз + пшеничная солома	40 : 1	331 : 8	660
Свежий коровий навоз + кукурузные стебли	23 : 1	307 : 13	679

Наилучшим сырьем для вносимого бактериесодержащего субстрата является отстой мясокомбината или консервного завода. Бактериесодержащего материала для первой загрузки необходимо заготовить 10...15% от массы ферментируемого в материала. Первичную загрузку метантенка выполняют в такой последовательности. Вначале помещают в биогазогенератор измельченные сухие стебли растений, уплотняют их так, чтобы получилась подстилка толщиной 10...20 см, затем вносится навоз и бактериесодержащий субстрат. Операции повторяют слой за слоем, пока в метантенк не загрузится весь подготовленный материал.

Время первичной ферментации 1...2 дня летом и 3...5 дней зимой. Во время ферментации температура материала поднимается и когда она достигнет 40...60 °С, можно доливать остальную воду через загрузочно-разгрузочную трубу. Далее необходимо проверить pH. Среда должна быть нейтральной. Если pH ниже 6, в биогазогенератор необходимо добавить немного известковой или аммиачной воды для повышения pH до 7. После того как биогазогенератор загерметизирован, вентиль остается закрытым 2...3 дня. Перед началом использования биогаза, его качество необходимо проверить.

Если генератор не заблокирован с туалетом и свинарником, то солому и навоз необходимо загружать каждые 8 дней после начала выработки биогаза. Выгрузку шлама из биогазогенератора производят по мере необходимости. Необходимо также не допускать попадания в биогазогенератор сельхозхимикатов, пестицидов, бактерицидов и т.п. Производительность данного биогазогенератора 0,15...0,3 м³ на 1 м³ объема в день.

Необходимо отметить, что в результате анаэробного сбраживания навоза в биогазогенераторе получается не только метан, но и отстой является более ценным удобрением, чем исходная органическая масса.

Предложенный вариант усовершенствования конструкции компактного биогазогенератора имеет практическое значение и может быть использован в фермерских усадьбах.

Список использованных источников

1. Матвеев Ю.Б. Биогазовые технологии. – К.: Биоэнергетическая ассоциация Украины, 2015. 34 с.
2. Мариненко Е. Е. Основы получения и использования биотоплива в с.-х. Волгоград: ВолгГАСА, 2003. 100 с.
3. Ши Линь, Стручаев Н.И., Люй Чжаосинь//К вопросу об использовании биогаза в Китае.: -Запорожье, 1994. -с.24-31
4. Дідур В.А. Теплотехніка і теплопостачання/ В.А. Дідур, М.І. Стручаєв. - К. : Аграрна освіта, 2008. – 233 с.

**Шаталов Е.С., магистрант, Вельченко А.А., к.т.н., доцент
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь**

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ МАЛОГАБАРИТНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК С ПОМОЩЬЮ ДВУХОСНОЙ СИСТЕМЫ СЛЕЖЕНИЯ ЗА СОЛНЦЕМ

Ключевые слова: солнечная энергетическая установка, концентратор, линза Френеля, фотоэлектрический элемент.

Аннотация: Применение возобновляемых источников энергии, является перспективным будущим для энергетики. В работе рассматриваются вопросы повышения эффективности солнечных панелей путём внедрения двухосной системы слежения за солнцем.

Основная часть. Основными способами повышения эффективности работы солнечных энергетических установок (СЭУ) являются:

1. Повышение коэффициент полезного действия (КПД) фотопреобразователей. На сегодня у современных солнечных панелей эта величина лежит в интервале 12-25%. Лабораторные образцы достигают 45-50% КПД. Такая разница существует из-за материалов для изготовления панелей. В основе лежит кремний, который не поглощает ультрафиолетовый спектр, а лишь инфракрасную часть спектра. Выходит, что энергия ультрафиолетового излучения не поглощается фотоэлементом.

Одним из недавних направлений повышения КПД является создание многослойных панелей. Эти конструкции сделаны из набора материалов, расположенных слоями. Материалы располагают так, чтобы различные слои материала улавливали максимальный диапазон. В результате КПД возрос до 45%, что значительно выше традиционных панелей на кремниевом материале фотоэлектрических элементов. Однако изготовление подобных модулей проблематично технически и экономически.

2. Использование концентраторов для увеличения удельного потока солнечной энергии, который падает на фотоэлементы СЭУ.

Одними из лучших концентраторов являются линзы Френеля. Они не такие громоздкие и тяжёлые, как обычные линзы, а также сравнительно недорогие.

Однако, при температуре 100-150° эффективность выработки электроэнергии падает, поэтому при использовании таких устройств возникает риск перегрева приёмника, что снижает эффективность работы. Поэтому применение концентраторов подразумевает наличие системы охлаждения для СЭУ.

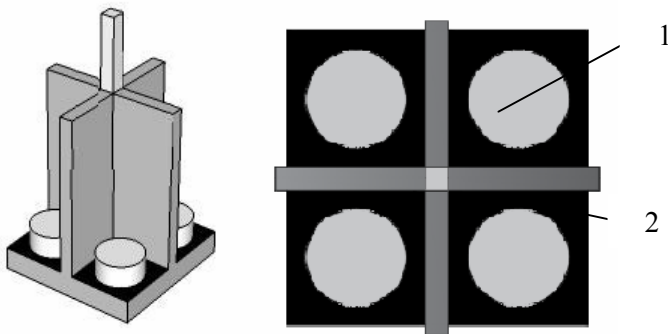
3. Системы, следящие за солнцем, которые автоматически поворачивают солнечную панель для попадания на неё прямых лучей. Это связано с тем, что КПД солнечной панели максимален при попадании на неё солнечных лучей под прямым углом.

Самое большое преимущество систем, следящих за солнцем – это увеличение производительности электрической энергии. Как правило, система с одноосным солнечным трекером, увеличивает производительность от 25%, до 35%, а двухосевой трекер повышает её на 5-10%.

Одноосные трекеры лучше применять в широтах ближе к экватору, где солнце круглый год поднимается высоко над горизонтом. В наших же широтах, где угол падения солнечных лучей меняется с течением года, лучше использовать двухосные трекеры.

В этих системах всё же есть свои недостатки: повышенная стоимость установки и затраты на обслуживание. Цена обусловлена дополнительным оборудованием и более сложной конструкцией. Также недостатком является большой вес, что не позволяет проектирование их установки на крыше. Кроме того, стоит отметить, что эффективно использовать системы слежения за солнцем только на небольших солнечных электростанциях. На станциях больших масштабов сильно увеличивается стоимость строительства.

В работе предлагается разработка двухосной системы слежения за Солнцем для малогабаритных и переносных СЭУ, а также установка подвижной платформы с 4-мя фоторезисторами, разделёнными между собой перегородками. Для вращения платформы вокруг горизонтальной и вертикальной оси используются сервоприводы, угол поворота регулируется микроконтроллером и зависит от мощности падающего света на четыре фоторезистора, разделённых между собой перегородками (рис.1 а, б).



Рисун а) хема рабочега элемен б) ящего устройства:
а) - внешний вид устройства; б) - вид сверху платформы:
1- фоторезистор; 2- перегородка.

Платформа движется в тех же плоскостях, что и фотоэлементы и в течении светового дня выбирает максимально эффективный угол падения солнечных лучей на солнечные панели. С движением Солнца постоянно будут затеняться некоторые фоторезисторы, и их сопротивление будет изменяться. Эти изменения будет фиксировать и сравнивать микроконтроллер.

Заключение. Двухосные системы слежения за солнцем экономически выгодно использовать на небольших солнечных электростанциях. Поэтому, чтобы повысить эффективность работы малогабаритных СЭУ в наших широтах можно использовать двухосную систему слежения за Солнцем. Это позволит наиболее эффективно использовать солнечную энергию круглый год, при этом их использование позволит быстро окупить затраты на установку солнечных панелей.

**Щербина С.А., магистрант, Вельченко А.А., к.т.н., доцент
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь
РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ГИБРИДНОЙ СИСТЕМЫ
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИЭ**

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, моделирование автономных систем электроснабжения, солнечные панели, ветротурбина, шина постоянного тока.

Аннотация: В работе предлагается модель маломощной гибридной электростанции с использованием возобновляемых источников энергии. В

основе модели лежит выполнение баланса мощности. Моделирование системы электроснабжения выполнено с использованием шины постоянного тока как узла сопряжения элементов схемы.

Основная часть. Основным генерирующим агрегатом является дизель-генератор (ДГ). Такой способ производства электроэнергии применяется в удаленных районах, где отсутствует возможность подключения потребителей к магистральной систем электроснабжения (СЭС). Как правило, мощность удаленных потребителей невелика и достигает порядка 100 кВт.

Разумеется, подобные автономные системы имеют свои достоинства и недостатки. К достоинствам, пожалуй, можно отнести только мобильность таких электростанций и автономность, а недостатков выявлено гораздо больше. Это – необходимость регулярного обслуживания, дороговизна самого топлива и его доставки, сравнительно небольшой срок службы при непрерывной работе, вредные выбросы в окружающую среду. Несмотря на все эти негативные стороны, дизельные установки все же очень часто применяются, так как полноценной менее затратной альтернативы пока еще не существует.

Если невозможно полностью отказаться от использования ДГ в удаленных районах, стоит попытаться повысить эффективность использования ресурса этих агрегатов. Одним из наиболее перспективных путей для достижения этой цели является использование дизельной установки в совокупности с возобновляемыми источниками энергии (ВИЭ).

К основным их типам относятся: энергия солнца, ветра, геотермальная, малая гидроэнергетика и энергия биомасс. К рассмотрению принимаются только первые два типа, так как геотермальная и малая гидроэнергетика могут быть использованы только в специфических местах.

Предлагается модель маломощной гибридной электростанции с использованием ВИЭ (рис.1). В основе модели лежит выполнение баланса мощности. Установка включает в себя ветротурбину, солнечную панель, буферный накопитель энергии (пару блоков аккумуляторных батарей), полезную и балластную нагрузки, дизель-генератор. В качестве узла сопряжения выступает DC – шина постоянного тока (ШПТ), номинальное напряжение которой принимается постоянным и определяется конфигурацией блоков накопителей энергии. В работе системы используются два аккумуляторных блока (АКБ), этот модуль имеет малый срок службы, а техническое обслуживание будет проводиться редко, следовательно, необходимо соблюдение оптимальных режимов заряд/разряд батарей.

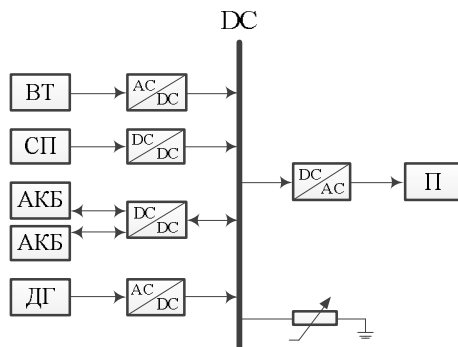


Рисунок 1 – Функциональная схема согласования гибридной электростанции:
 BT – ветротурбина; СП – солнечная панель; АКБ – аккумуляторная батарея;
 ДГ – дизель генератор; П – потребитель, AC/DC, DC/DC, DC/AC – (инверторы),
 преобразователи тока.

Полезный потребитель должен быть обеспечен бесперебойной подачей электроэнергии, при этом необходимо максимально полно использовать ресурсы возобновляемой энергии, а в случае их нехватки получать питание от дизель-генератора. Однако работа генератора требует затрат на топливо даже на холостом ходу, и он должен быть отключен то время, в которое не востребован. В случае кратковременного дефицита электроэнергии следует избежать его использования, поэтому на ШПТ устанавливается буферный накопитель энергии – два блока аккумуляторных батарей, переключаемых между собой (один включен на разряд, второй – на заряд).

Возможен и другой случай: полезная нагрузка невелика, буферный накопитель полностью заряжен, дизель-генератор выключен, а возобновляемые ресурсы в избытке. Здесь используем балластную нагрузку для потребления «излишков» электроэнергии. В остальных режимах она должна быть отключена.

В качестве инструмента моделирования было выбрано ПО Matlab Simulink, возможности которого необходимы и достаточны для выполнения поставленных задач.

Заключение. В данной работе была разработана модель гибридной системы электроснабжения с использованием возобновляемых источников энергии, таких как солнце и ветер.

С помощью разработанной модели становится возможным наблюдение за поведением каждого из элементов схемы во время ее работы. На ШПТ сопрягаются три вида источников энергии, две нагрузки (полезная

и балластная) и пара блоков аккумуляторных батарей. Расчет модели проводился с использованием только постоянного тока и при этом не был нарушен основной физический закон – баланс мощности. Такое допущение позволило не вводить в модель громоздкие преобразователи, что свело время моделирования к минимуму.

Яцко П.В., магистр МГЭУ им. А.Д. Сахарова БГУ,

Красовский В.И., к.т.н., доцент

Международный государственный экологический институт

имени А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск

ПРИМЕНЕНИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ И АККУМУЛИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

С целью снижения негативного воздействия деятельности людей на окружающую среду и истощения запасов полезных ископаемых, используемых для углеводородного топлива, сектор производства электроэнергии можно трансформировать за счет широкого использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ). С учетом принимаемой концепции (использование ВИЭ), а также с учетом характера их работы (периодические изменения в выработке энергии), аккумулирование энергии будет являться одной из ключевых технологий, имеющей решающее значение для обеспечения этой трансформации.

Аккумулирование не сэкономит энергию, а наоборот приведет к дополнительным потерям, но оно позволит значительно облегчить управление потреблением энергии и, соответственно, во многих случаях поможет снизить ее нерациональное использование. Известно, что генерируемая электроэнергия большинства ВИЭ подвержена периодическим и случайным изменениям (ветровая, солнечная и гидро -энергия). При этом скорость потребления энергии потребителями изменяется во времени как в течение дня, так и в течении года. Приведение в соответствие выработки и потребления энергии во времени может осуществляться посредством аккумулирования [1-2].

Для выполнения разных функций, связанных с работой ЭС и с ВИЭ, мощность и энергоемкость аккумулирующих устройств должны быть неодинаковыми, также как и их быстроедействие. Например, если рассматривать применение систем аккумулирования для технологий ВИЭ, работающих на энергии ветра, как правило, можно учитывать два обстоятельства. Одно из них заключается в том, что колебания энергии ветра присутствуют на разных скоростях ветра, что требует от системы

аккумулирования выравнивания графика выдаваемой мощности в разных временных диапазонах. Второе обстоятельство будет складываться из доминирующего характера нагрузок потребителя электрической энергии.

Нужно учитывать, что при интеграции малых объемов ВИЭ (доля в 5-10%) в сеть энергосистемы не вызывает трудностей. Для эффективного использования ВИЭ в странах с 25-40% годовой долей выработки от ВИЭ по отношению к традиционным источникам энергии применяют ряд технических решений, одним из которых является применение аккумулирования (хранения энергии) [3].

Таблица 1. Основные технические характеристики аккумуляторных технологий

Тип	Литий-ионные	Натрий-серноокислый	Свинцово-кислотный	Проточный	Воздушно-цинковый
Диапазон мощности	от 1 кВт до 50 МВт	от 0,5 кВт до 50 МВт	несколько МВт	от нескольких кВт до нескольких МВт	до 10 МВт
Энергетический диапазон	До 10 МВт·ч	До 350 МВт·ч	До 10 МВт·ч	100 кВт·ч до нескольких МВт·ч	до 40 МВт·ч
Время разряда	10 мин – 4 ч	6 ч – 7 ч	Мин. > 20 ч	Несколько ч	4 ч
Число циклов	2000-10000	2000-5000	500-3000	>12000	5000
Срок службы	15-20 лет	<15 лет	5-15 лет	10-20 лет	15 лет
Время реакции	Несколько мс	Несколько мс	Несколько мс	Несколько мс	Несколько мс
КПД	90-98%	75-85%	75-85%	70-75%	75%
Плотность энергии	120-180 Вт·ч/кг	100-120 Вт·ч/кг	25-35 Вт·ч/кг	10-25 Вт·ч/л	-
Капитальные затраты: энергия	390-1300 евро / кВт·ч	400-600 евро / кВт·ч	100-200 евро / кВт·ч	100-400 евро / кВт·ч	160-250 евро / кВт·ч
Капитальные затраты: мощность	150-1000 евро / кВт	3000-4000 евро / кВт	100-500 евро / кВт	500-1300 евро / кВт	1000 евро / кВт

В системах аккумулирования, работающих в статическом режиме, преимущественно можно применять литий-ионные либо ванадиевые окислительно-восстановительные батареи, поскольку они могут обладать большой емкостью для поддержания выдаваемой мощности в заданном диапазоне. В системах, работающих преимущественно в динамическом режиме, можно использовать суперконденсаторы либо супермаховики. При применении в качестве возобновляемого источника энергии ветрогенератора, нужно учитывать то, что колебания энергии ветра делятся на кратковременные и долговременные составляющие, и для эффективного применения аккумулирующих систем можно использовать двухуровневые системы хранения, например, литий-ионные батареи и суперконденсаторы, или ванадиевые редокс батареи и супермаховики, и т.д. [4].

Проанализировав представленную информацию можно сделать вывод о том, что выбор аккумулирующих устройств может зависеть от параметров электрической сети и/или возобновляемого источника энергии. Применяя накопители энергии можно аккумулировать электроэнергию, вырабатываемую от ВИЭ во время малых нагрузок (ночное время), и генерировать в дневное время при пиковых нагрузках. Аккумулирующие системы могут участвовать в накоплении электроэнергии из электросети в момент дефицита нагрузок и выдавать электроэнергию в момент повышенного спроса, а также способствовать поддержанию организованной системы противоаварийного управления и этим содействовать предотвращению каскадных аварий, что является одной из основных проблем электроэнергетики.

Список использованных источников

1. Арский Ю.М. Экологическая экспертиза: Обзорная информация, выпуск №6 / Ю.М. Арский. – Москва: ВИНТИ, 2018 – 145с.;
2. Жарков П.В. Перспективные технологии производства тепловой и электрической энергии/ П.В. Жарков, А. Ю. Маринченко и др. – Иркутск: ИРНИТУ, 218. – 102с.;
3. International Energy Agency, The power of transformation. Wind, Sun and the Economics of Flexible Power Systems / International Energy Agency – Paris, 2014. – 238 с.;
4. Сахаровские чтения 2019 года: экологические проблемы XXI века: материалы 19-й международной научной конференции, 23–24 мая 2019 г., г. Минск, Республика Беларусь: в 3 ч. / Междунар. гос. экол. ин-т им. А.Д. Сахарова Бел. гос. ун-та; редкол.: С. А. Маскевича [и др.]; под ред. д-ра ф.-м. н., проф. С.А. Маскевича, д-ра с.-х. н., проф. С.С. Позняка. – Минск: ИВЦ Минфина, 2019. – 300с.

СЕКЦИЯ 3

ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ В АПК

Баран А.Н., Пашинский В.А., Липницкий Л.А., к.т.н., доценты
Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А.Д. Сахарова,
Селюк Ю.Н. ст. преподаватель

УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь

ИССЛЕДОВАНИЕ СВЕТОДИОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА И ИХ ВЛИЯНИЯ НА ПИТАЮЩЮЮ СЕТЬ

Широкому использованию светодиодных источников света способствует ряд факторов: низкое энергопотребление, высокая световая отдача, значительный срок службы и др.

Светодиодные источники света могут быть источником высших гармоник, которые будут приводить к превышению допустимых нормативных значений тока и напряжения. Как показывали ранее проводимые исследования, светодиодные источники света могут создавать довольно высокие значения гармоник третьего, а также в некоторых случаях 9-го и 15-го порядка [2].

Отдача в электрическую сеть гармонических составляющих тока и напряжения светодиодными источниками приводит к ряду негативных последствий.

Нелинейные характеристики светодиодных приборов не учитываются при существующих методиках расчетов электрических сетей и выборе пускозащитных аппаратов, хотя величина таких отклонений тока может составлять до 63%, а дополнительные потери мощности могут составлять до 30% [1, 4, 5]. Это подтверждается и опытом авторов при изучении использования светодиодных источников света на различных объектах.

Для более детального исследования этих явлений на кафедре энергоэффективных технологий МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ разработан и изготовлен испытательный стенд (рисунок 1), позволяющий фиксировать не только интегральные характеристики измеряемых величин, но и наблюдать их в динамике.

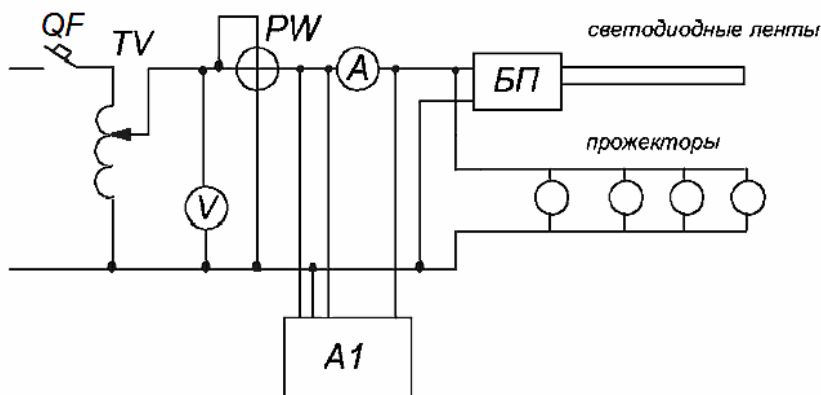


Рисунок 1. Принципиальная электрическая схема испытательного стенда:
 QF – автоматический выключатель; TV – регулятор напряжения; PW – ваттметр;
 А – амперметр; V – вольтметр;
 БП – блок питания светодиодной ленты INPOT AC 180 – 264 В;
 А1 – осциллограф Hantek DSO 5062B

Осциллограммы показали наличие в токе, проходящем через светодиодный источник, гармоник, существенно искажающих форму синусоидального сигнала указанных величин.

С помощью измерительных приборов стенда были получены значения тока и активной мощности и произведен расчет полной мощности и коэффициента мощности на исследуемых светодиодных источниках света при различных значениях входного напряжения в принятом «рабочем» диапазоне. Результаты исследований представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Результаты исследований светодиодных лент LED Strip 5050SND 1 = 5 м, 6 шт., 2 блока по 300 Вт

Напряжение сети, В	Ток, А	Мощность активная, Вт	Полная мощность, В·А	cos φ
100	6,0	264	600	0,440
120	5,0	294	600	0,490
140	4,5	321	630	0,510
160	3,9	340	624	0,545
180	3,6	351	648	0,542
200	3,5	356	698	0,510
220	3,25	365	715	0,510
240	3,0	377	720	0,523
260	2,8	399	728	0,548

Таблица 2 – Результаты исследований прожекторов LED СДО – 06

Напряжение сети, В	Ток, А	Мощность активная, Вт	Полная мощность, В·А	cos φ
100	3,10	266	310	0,850
120	2,93	295	352	0,839
140	2,74	321	384	0,837
160	2,56	340	410	0,830
180	2,40	352	432	0,772
200	2,28	356	456	0,781
220	2,20	365	484	0,754
240	2,11	377	506	0,740
260	2,03	399	528	0,750

Анализ полученных результатов показывает, что изменение сетевого напряжения в допустимом действующим стандартом диапазоне от 198 В до 242 В на светодиодных источниках света ведет к уменьшению тока на 17 % и увеличению активной мощности на 8 %, а полной мощности - в среднем на 12 %. При этом коэффициент мощности будет иметь достаточно низкие значения и составлять в указанном диапазоне напряжений для исследуемого источника на светодиодной ленте 0,51 – 0,55, а для светодиодных прожекторов – 0,74 – 0,78.

Для повышения коэффициента мощности питающей сети с осветительной нагрузкой возможно использование пассивных фильтро-компенсирующих устройств.

Результатом проведенных исследований могут быть следующие рекомендации:

- при выборе пускозащитных аппаратов и питающих линий для установок светодиодного освещения необходимо вводить корректирующие коэффициенты, учитывающие нелинейный характер нагрузки и связанное с ним увеличение мгновенных значений тока. Конкретизация коэффициентов требует дальнейших исследований;

- для снижения гармоник тока и повышения коэффициента мощности целесообразно использование в цепях со светодиодными источниками света активной коррекции с помощью специальных корректоров коэффициента мощности.

Список использованных источников

1. Официальный сайт Министерства энергетики Республики Беларусь [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://minenergo.gov.by/obem-proizvodstva-jelektroenergii-v-2018-godu-v-belarusi-vyros-na-12-9/> – Дата доступа: 19.04.2019.

2. Боярская Н.П. Анализ спектрального состава токов и напряжения светодиодных и газоразрядных источников света / Н.П. Боярская и др. // Вестник КрасГАУ – 2013. № 8. – С. 180 – 184.

3. Алферов А.А. Влияние светодиодных источников света на содержание гармоник тока и напряжения в системах электроснабжения промышлен-

ленных предприятий / А.А. Алферов и др. // Вестник ГГТУ им. Сухого – 2016, №3. – С. 67 – 74.

4. Бирюлин В. И. Исследование работы светодиодных светильников / В.И. Бирюлин, Л.С. Чернышев, Д.В. Куделина // Auditorium. Электронный научный журнал Курского государственного университета, 2018, №3 (19). [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://auditorium.kursksu.ru/pdf/019-013.pdf> – Дата доступа: 19.04.2019.

5. Радкевич, В.Н. Характеристики электропотребления светодиодных световых приборов и их учет при расчете электрических сетей / В.Н. Радкевич, Я.В. Михайлова // Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. Энергетика. – 2016. – № 4. – С. 289 – 300.

**Бойко М.А., ст. преподаватель, Мацкело В.В., ассистент
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь**
**ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОГО
ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ПОЛИВОЧНОЙ ВОДЫ**

Вода является необходимым компонентом для осуществления всех физиологических процессов, происходящих в растении: фотосинтеза, передвижения органических соединений, поглощения минеральных веществ в виде почвенных растворов, а также вода регулирует температуру растений путем испарения с поверхности листьев. Растения состоят из воды и сухого вещества, причем воды в них не меньше 80%. Однако, столь высокое содержание влаги недостаточно для поддержания жизнедеятельности, поэтому важным является процесс ее поступления извне. Растения используют воду для метаболического и физиологического функционирования.

На жизнедеятельность растений влияет не только количество, но и качество воды. От ее химического и физического состава зависит правильное функционирование систем полива. Повышение концентрации солей приводит к уменьшению количества основных макроэлементов, которые можно вносить в питательный раствор, сохраняя оптимальную электропроводность воды для полива. При расчёте удобрений и общей электропроводности рабочего раствора необходимо учитывать концентрацию отдельных макроэлементов, а также сульфатов, чтобы не превысить допустимое количество в 100 мг/л SO_4 [1].

Профилактика заболеваний растений в гидропонных системах имеет первостепенное значение, наряду с поддержанием сбалансированного химического состава питательного раствора. Болезнь замедляет развитие растения, снижает плодоношение, а зачастую может привести к гибели не только единичных экземпляров, но и гидропонного хозяйства в целом.

Сложившаяся практика борьбы с заболеваниями растений подразумевает использование антисептических и биоцидных веществ, однако их использование снижает экологическую ценность конечного продукта[1].

Электроимпульсная технология основана на воздействии ударных волн на обрабатываемую жидкость, генерируемых импульсным электрическим разрядом и вызывающих гибель микроорганизмов. В объеме, занимаемом водой, формируется электрический разряд с помощью погруженных электродов специальной формы, питающихся от импульсного источника электроэнергии. Этот разряд формирует ударную волну, которая распространяется в объеме воды. При прохождении волны в объеме, занимаемом микроорганизмами, возникает мгновенный градиент давления, который приводит к механическому их уничтожению.

В ходе лабораторных испытаний использовалось устройство, которое на выходе позволяло иметь импульс напряжения порядка 3 кВ с разрядным током около 6 кА длительностью до 2 мс. При исследовании разряда в воде было установлено, что при воздействии высокого напряжения через воду в первый момент времени сопротивление воды в сотни раз больше, чем в момент самого разряда. Это обуславливает различие напряжения пробоя на конденсаторе и начального напряжения заряда. А для того, чтобы создать разряд при первоначальном напряжении, подаваемом на электроды в воде, требуется поддерживать напряжение на электродах более 10 мс, причём в первые 5-6 мс всей длительности импульса, из-за высокого сопротивления воды, ток, проходящий через воду в сотни раз меньше, чем в момент разряда.

Такая особенность воды дает возможность проводить обеззараживание при более низком напряжении, не прибегая к дорогостоящим компонентам установки. Полученные результаты имеют практическую значимость, так как позволяют существенно сократить объемы дезинфицирующих средств импортируемых в республику и используемых для обеззараживания поливочной воды.

Список использованных источников

1. УниВод [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: <https://univod.ru/proizvodstvo/selskoe-hozyajstvo/>. Дата доступа – 23.11.2019.

Бондарчук О.В., Пашинский В.А., к.т.н., доцент, Метельский А.В.

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА СОЛОДА ОБРАБОТКОЙ ПИВОВАРЕННОГО ЯЧМЕНЯ ПЕРЕМЕННЫМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПОЛЕМ

Основным сырьем для производства солода является пивоваренный ячмень.

В Республике Беларусь в 2019 году для ОАО «Белсолод» госзаказ на заготовку пивоваренного ячменя составляет 85 тысяч тонн. Производственные мощности концерна – 130 тысяч тонн солода в год [1]. Солод производят из пивоваренного ячменя, выращенного в Республике Беларусь, а недостающее количество пивоваренного ячменя завозят из Дании и др.

стран [2]. Что свидетельствует о недогруженной мощности предприятий отечественным ячменем.

Известно, что химический состав зерна в первую очередь и определяется видом растения, однако он может существенно меняться в зависимости от места и условий произрастания, что требует особого подхода к его переработке.

Среди современных способов обработки ячменя перед солодоращением особое место занимают воздействия физических факторов, в частности, способы интенсификации процесса производства солода с применением электрических, магнитных, импульсных полей.

В практическом отношении представляет интерес воздействие на ячмень переменного электрического поля.

Электрическое поле оказывает влияние на различные взаимосвязанные биологические процессы, протекающие в зерне ячменя, позволяя достичь при его использовании изменения целого ряда характеристик сырья.

При изучении механизмов воздействия тока и электрического поля на зерно отмечается, что под влиянием указанных факторов и других внешних условий могут изменяться электромагнитные параметры клетки. В частности, изменение мембранного потенциала, является одним из основных способов управления физиологическими процессами, то есть биохимическими реакциями в клетке, связанными с ее метаболизмом.

Многие клетки и их мембраны могут напрямую использовать энергию внешних электромагнитных полей, превращая ее в энергию молекулярных и клеточных процессов.

Как отмечено авторами [3], первичный эффект действия связан с образованием активных окислителей, главным образом радикалов и пероксидов. Такие соединения путем воздействия на биомембраны, стимулируют образование молекул (гиббереллиноподобных веществ в зародыше, хиноидных в тканях), запускающих процессы метаболизма. Эти эффекты являются результатом активизации всех физиологических процессов в растении.

В обработанных зернах активизируется ферментативная деятельность, улучшается проницаемость мембран, быстрее идет распад запасных энергетических материалов. Следовательно, электромагнитное поле досрочно запускает механизм прорастания семян и, возможно, в какой-то мере подкрепляет их энергетические ресурсы.

Повысить качество солода можно обработкой пивоваренного ячменя переменным электрическим полем напряженностью 1,2–1,3 МВ/м, временем воздействия 3 с и количеством воздействия на одну партию ячменя 3 раза [4].

Это позволяет увеличить энергию прорастания на 38%, амилолитическую активность солода на 40 %, экстрактивность солода на 24%, сократить время осахаривания на 33%, то есть повысить качество солода.

Список использованных источников

1. Беларусь сегодня. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.sb.by/articles/chuvstvo-soloda.html>. – Дата доступа: 14.10.2019.

2. Новости компаний. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://news.tut.by/press/546406.html>. – Дата доступа: 15.10.2019.
3. Гольдштейн Л.Д. Электромагнитные поля и волны / Л.Д. Гольдштейн, Н.В. Зернов ; изд. 2-е, перераб. и дополненное. – М.: Советское радио, 1971. – 664 с.
4. Способ обработки пивоваренного ячменя в сухом виде : пат. 22032 Респ. Беларусь, МПК C12C 1/02 О.В. Бондарчук, В.А. Пашинский, Н.Ф. Бондарь; заявитель Учреждение образования «Белорусский аграрный технический университет». – № а 20160040; заявл. 10.02.2016; опубл. 30.10.2017 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2017. – №5. – С. 21.

Герасимович Л.С., академик, Михайлов В.В., Заец А.Н.
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь,
ОАО «Связьинвест», г. Минск
ТЕЛЕКОМУНИКАЦИОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ И КОНТРОЛЛИНГ
СПЕКТРА И ИНТЕНСИВНОСТИ ИЗЛУЧЕНИЯ СВЕТОДИОДНЫХ
ФИТООБЛУЧАТЕЛЕЙ В ТЕПЛИЧНОМ КОМПЛЕКСЕ

В последние годы тепличное овощеводство получило широкое развитие во всем мире. По оценкам экспертов до 2021 г. площадь теплиц в мире будет расти более чем на 11% в год и достигнет 750 тыс. га, что на 51 % больше, чем в 2017 г.

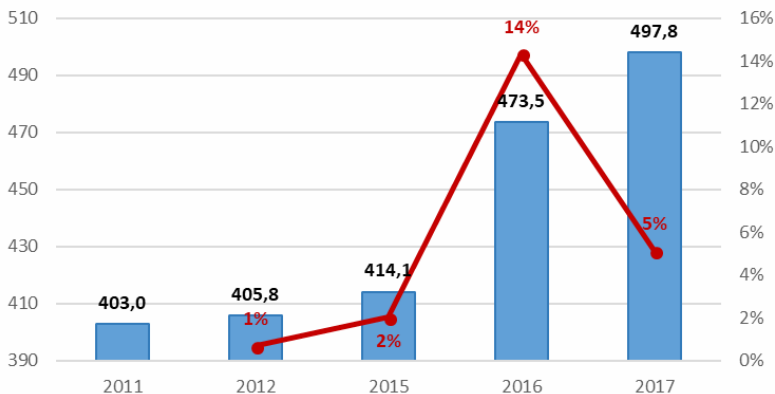


Рисунок 1 Тенденция роста теплиц в мире в период с 2011 по 2017 гг. [1].

Защищенный грунт Республики Беларусь играет существенную роль в формировании конкурентоспособного и устойчивого механизма развития

АПК. Проблемы экологической и энергетической составляющей при производстве тепличных овощей в настоящее время являются наиболее актуальными. Даже ее частичное решение во многом позволит улучшить качество продукции, снизить энергоемкость, повысить эффективность труда и обеспечит более высокую экологичность производства овощей.

Повышение урожайности в тепличном овощеводстве неразрывно связано с соблюдением не только технологий выращивания, но и в применении новейших эффективных технических решений. Среди них наибольший интерес вызывает технология искусственного облучения растений (светокультура) и управление этим процессом.

Задача исследований состояла в том, чтобы создать «искусственный фотосинтез» - воссоздать естественный процесс фотосинтеза, для этого был разработан алгоритм управления спектром и интенсивностью излучения с помощью телекоммуникационного оборудования при использовании светодиодных светильников.

Для создания системы и оптимальных параметров искусственного излучения растений были использованы ранее разработанные светодиодные фитооблучатели, максимально повторяющие спектральную чувствительность листа растения, с соотношением потока фотонов по спектральным диапазонам: 400– 499 нм – 27 %, (500– 599) нм – 19,2%, (600– 699) нм – 51,5% и (700–780) нм– 2,3%. Значение осевой освещенности на расстоянии 1,5 м от светильника составило 6,32 клк [2].

Разработка системы осуществлялась на базе контроллера Dali. Получение информации об окружающей среде (значение естественной солнечной радиации) происходила посредством датчиков, управление спектральным составом света светильников различными исполнительными устройствами по уровню освещенности. Микроконтроллер на плате программировался в зависимости от вида выращиваемой культуры, ее предпочтений в спектре излучения, интенсивности, фотопериоде и др. Контроллер функционировал самостоятельно, мог взаимодействовать с программным обеспечением компьютера, либо мобильным устройством, позволяющим дистанционно проводить контроллинг уровня ФАР (спектра и интенсивности излучения, рисунок 2).

Стоит, отметить что система в начале была исследована в лабораторных условиях, а затем «отработана» на производстве в реальных тепличного комплекса [2].



Рисунок 2 Внешний вид программы телекоммуникационного управления и контроллинга спектра и интенсивности излучения светодиодных фитооблучателей.

Проведенные исследования показали, что разработанное телекоммуникационное управление и контроллинг спектра и интенсивности излучения светодиодных фитооблучателей при выращивании томатов в тепличном комплексе позволяет снизить затраты труда на мониторинг системы облучения и ее обслуживание. Применение светодиодов с управляемым спектром и интенсивностью излучения позволило увеличить биопродуктивность и снизить потребляемую электроэнергию на процесс досвечивания.

Список использованных источников

1. Мировые и российские перспективы тепличного овощеводства // АгроБизнес [Электронный ресурс] / Мировые и российские перспективы тепличного овощеводства. – Краснодар, 2018. – Режим доступа: <http://agbz.ru/articles/mirovyie-i-rossiyskie-perspektivy-teplichnogoovoshevodstva> (дата доступа: 22.11.2019).
2. Герасимович, Л.С. Исследование влияния светодиодного освещения на рост томатов в теплицах / Л.С. Герасимович, В.В. Михайлов // Энергосбережение – важнейшее условие инновационного развития АПК: сб. науч. ст. Междунар. науч.-техн. конф. Минск, 23–24 ноября 2017 г. – Минск : БГАТУ, 2017. – С. 181 – 184.
3. Герасимович Л.С. Повышение урожайности овощей защищенного грунта при использовании светодиодных облучателей с управляемым спектром излучения/ Л.С. Герасимович, В.В. Михайлов // Импортозаменяющие технологии и оборудование: Материалы I Всероссийской конференции с международным участием г. Тамбов, 25–26 мая 2019 г. – Тамбов: ТГТУ, 2019. – с. 265 – 270.

**Герасимович Л.С., д.т.н., профессор, Коховец Ж.А., ассистент
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь**
**К ОБОСНОВАНИЮ МЕТОДА НОРМИРОВАНИЯ РАСХОДА
ЭНЕРГОРЕСУРСОВ НА МЯСОКОМБИНАТАХ**

Норма электропотребления – усредненная расчетная величина, обычно директивно устанавливаемая для прогноза и анализа электропотребления, а также для стимулирования энергосбережения [1]. В зависимости от цели расчета нормы разделяют по степени агрегации (индивидуальные, групповые), по периоду действия (годовые, квартальные, месячные), по составу расхода (технологические, общепроизводственные). Для конкретного предприятия, имеющего свои технологические особенности, структуру производства, в том числе в зависимости от типа и параметров выпускаемой продукции, должна существовать соответствующая структура учета электроэнергии.

Для различных типов технологических процессов характерна более или менее значительная пропорциональная зависимость расхода электроэнергии от объема производимой продукции. Так, например, не зависят от объема производства затраты электроэнергии на освещение, отопление и вентиляцию цехов. Следует также отметить, что все механизмы и агрегаты меняют свое электропотребление в зависимости от температуры окружающей среды, от времени года [2]. Таким образом, очевидно, что весь объем электроэнергии, потребляемый любым производственным цехом, участком, производящим какую-либо продукцию, делится на две составляющие: потребление электроэнергии, пропорциональное объему производимой продукции (переменная составляющая); постоянная составляющая потребления электроэнергии, не зависящая от объема производимой за определенный временной интервал продукции.

По составу расходов нормы в производстве подразделяются на технологические и общепроизводственные.

Технологическая норма включает расход энергоносителей на основные и вспомогательные технологические процессы производства данного вида продукции, расход на поддержание оборудования и агрегатов в горячем резерве, на их разогрев и пуск после текущих ремонтов и холодных простоев, а также технически неизбежные потери при работе оборудования.

Норма расхода электрической энергии для выполнения технологической операции определяется по формуле:

$$H_T = W_T / Q \quad (1)$$

где: W_T – технологический расход электрической энергии производства данного вида продукции, кВт·ч;

Q – планируемый выпуск продукции, ед. прод.

На долю нормирования потребления приходится 95,2% производственных затрат электрической энергии; 92,2% производственных затрат теплоты; 100% затрат топлива. Поэтому при расчете целевого показателя по энергосбережению необходимо учитывать сопоставимые условия базисного и отчетного периода.

Динамика изменения удельных норм и фактических удельных расходов ЭЭ за период 2015-2017 годы представлена в таблице 1

Таблица 1. Динамика выполнения норм расхода электроэнергии по основным видам продукции

Виды продук- ции	Единицы измерения	Удельный расход*					
		2015		2016		2017	
		план	факт	план	факт	план	факт
Электрическая энергия							
Мясо и субпро- дукты	кВт-ч/т	307,5	307,5	307,5	307,5	305	305
Полуфабрикаты	кВт-ч/т	292,5	292,5	292,5	292,5	291	291
Колбасные изделия	кВт-ч/т	466	466	460	460	454	454
Сухие корма	кВт-ч/т	890	890	890	890	890	890
Тепловая энергия	кВт- ч/Гкал	19,3	19,3	19,3	19,3	18,0	18,0

Вопросам повышения эффективности использования энергии в Беларуси уделяется повышенное внимание как на государственном, так и ведомственном уровне, а также на уровне отдельных организаций производственной и непроизводственной сфер. Постоянно совершенствуется нормативно-правовая база энергосбережения, утверждена Инструкция по расчету целевых показателей по энергосбережению.

Для определения эффективности любой установки часто используются целевые коэффициенты ($K_{ц}$), учитывающие полезный эффект (ПЭ) и затраты энергии (ЗЭ):

Для холодильных установок: (ПЭ) – является холод.

Для определения энергетической эффективности установки кроме полученного ПЭ необходимо учесть затраты энергии (ЗЭ), которая подводится к установке, для обеспечения её работы.

$$K_{ц} = \text{ПЭ} / \text{ЗЭ} \quad (2)$$

Холодильный коэффициент (ϵ) может достигать значений более 100 % (может составлять: 150; 200; 250; и т.д. %) [2].

На основании вышеизложенного, следует отметить актуальность и высокую востребованность метода нормирования потребления энергоресурсов на мясокомбинатах, учитывающий как энерготехнологические особенности мясопереработки, так и необходимость обеспечения управления энергоэффективностью производства.

Список использованных источников

1. Энергоэффективность аграрного производства. Под. общ. ред. академиков В.Г.Гусакова, Л.С.Герасимовича и др. Минск: Белорусская наука, 2011. – 776с.
2. Гнатюк В.И. Закон оптимального построения техноценозов. – Вып. 29. Ценологические исследования. – М.:Центр системных исследований, 2005. - 383с.
3. Герасимович Л. С. Системный анализ агроэнергетики: Курс лекций.- Мн.:УП «Технопринт», 2004.-126 с.

**Городецкая Е.А., к.т.н., доцент, Городецкий Ю.К., Роговой А.А.,
Кучук Е.**

***УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь***
**ДИЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СЕПАРАЦИЯ – ПЕРСПЕКТИВНАЯ
ПОДГОТОВКА СЕМЯН К ПОСЕВУ**

Существующие технологии, обеспечивающие очистку и сортирование семян, основаны на различии их (семян) свойств: по удельному весу, плотности, размеру, форме, аэродинамическим, физикомеханическим и химическим свойствам. Однако семена – потенциально живые организмы, их нельзя травмировать, нагревать и помещать в агрессивные среды. При электрических способах сепарации семенных смесей используют различие свойств электропроводности, диэлектрической проницаемости, поляризуемости, способности воспринимать и отдавать заряд. Электрические свойства обрабатываемого семенного материала находятся в тесной взаимосвязи с их другими физическими и биологическими свойствами.

На кафедре электротехнологии ведутся исследования диэлектрического разделения семенных смесей и влияния его на посевные качества семенного материала [1, 2]. Различие значений и направлений сил, создаваемых системой заряженных электродов – бифилярной обмоткой, используется как рабочий орган при разделении сухих сыпучих смесей по качеству. Рабочий орган диэлектрических сепарирующих устройств (ДСУ) – это бифилярная обмотка, формирующая неоднородное электрическое поле, семена же рассматриваются как неоднородный диэлектрик. В ДСУ поляризационная сила (сила притяжения), действующая на частицу,

складывается из сил, обусловленных взаимодействием поляризованного заряда частицы, зарядов электродов и зарядами поляризованной изоляции [3]. Соотношением указанных сил в ДСУ можно управлять, что позволяет изменять режимы их работы и устанавливать наиболее оптимальные режимы для получения фракций семян заданного качества. Недостаток бифилярной обмотки ДСУ, заключающийся в просыпании мелких частиц в межэлектродный зазор и забивании его эффективной рабочей зоны, может быть успешно устранен установкой пленочного покрытия обмотки.

Метод диэлектрического разделения показал высокую эффективность при получении однородных фракций семян сельскохозяйственных культур, лекарственных, пряноароматических и красиво цветущих коллекционных растений. Это возможно с использованием диэлектрических сепараторов, обладающих научной и практической оригинальностью, реализующих конкурентоспособные технологии. Они разделяют сухие сыпучие смеси, в т. ч. семенной ворох, с учетом электрических свойств частиц на фракции гарантированного качества и нужных свойств. В результате электросепарации в первой фракции собираются качественные семена категории «Экстра». Очевидно, что при использовании диэлектрического сепаратора можно в несколько раз повысить эффективность использования сеялок при промышленном возделывании культур, значительно снизив процент невсхожей массы семян. Кроме четкого разделения на фракции, мы наблюдали улучшение фитосанитарного состояния семян после диэлектрического сепарирования (исследования семян хурмы *Diospyros kaki Thunb.*/ сорта «Королек», подвергшихся электрофизическому воздействию на рабочем органе диэлектрического сепаратора: на контрольных семенах наблюдался розросшийся *Penicillium spp.*, на опытных – нет).

Полученные сотрудниками кафедры результаты свидетельствуют о перспективности использования методов электрофизического воздействия на семенной и посадочный материал с целью его предпосевной обработки, повышающих всхожесть и продуктивность семян в полевых условиях. Таким образом, в наших исследованиях встречаются интересы дальнейшего развития фундаментального и прикладного направлений. Все работы выполнялись в соответствии с Договорами с БРФФИ Б11-013, Б14-017 и Б18-016.

Список использованных источников

1. Корко, В. С. Предпосевная доработка семян злаковых культур электрофизическими методами / В. С. Корко, А. Е. Лагутин, Е. А. Городецкая // Агропанорама. – 2009. – № 5. – С. 16-19.
2. Корко, В. С. Электрофизические методы стимуляции растительных объектов / В. С. Корко, Е. А. Городецкая. – Минск: БГАТУ, 2013. – 232 с.
3. Gorodecka, A. Поведение агрономических показателей семян под влиянием диэлектрической сепарации / A. Gorodecka, Y. Gorodecki. – Bydgoszcz, Республика Польша: Ekologia I Technika, nr 4 (137), 2015. – 214p.

**Гулевский В.Б., к.т.н., доцент, Посто́л Ю.А., к.т.н., доцент,
Стручаев Н.И. к.т.н., доцент, Беспалько В. В, студентка – магистрант
*Таврический государственный агротехнологический университет
имени Дмитрия Моторного, Украина***

ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ ПОД ДЕЙСТВИЕМ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

В последнее время экологические вопросы систем водоснабжения и водоотвода становятся очень остро. Одними из основных источников загрязнения и засорения водоемов недостаточно очищенные сточные воды промышленных предприятий.

С увеличением мощности предприятий, использованием сложных технологических процессов, потребления воды увеличивается. После использования в производственных целях вода загрязняется, изменяет свои первичные свойства, что делает ее непригодной для дальнейшего использования, то есть она превращается в производственные сточные воды (промышленные стоки), которые необходимо очищать перед повторным использованием. Сточные воды образуются на предприятиях машиностроения, металлообработки, металлургии, транспорта и даже сельского хозяйства. Технологии по очистке загрязненных стоков содержат множество методов, которые в совокупности позволяют добиться наибольшего эффекта в процессе водоочистки для многократного возвращения использованной воды в хозяйственную сферу.

Классическая очистка может происходить с применением разных методов. Основным направлением научных разработок по интенсификации очистки сточных вод являются методы действия на водную систему внешних полей, что обусловлено универсальностью и эффективностью методов при малых капитальных вложениях. Наибольшее распространения приобрели: наложение электрического поля; наложение магнитного поля; электрокоагуляция [1].

Исследованиями и наблюдениями установлено, что от 70 до 95%, а в отдельных случаях до 100% загрязняющие примеси в отраслях промышленности имеют ферромагнитные свойства. Причиной наличия таких примесей является непрерывная и прогрессирующая во времени коррозия, износ технологического и коммуникационного оборудования, наличие устаревших технологий производств [2].

Поскольку большая часть механических примесей имеют магнитные свойства, создается реальная перспектива применения методов и устройств для их магнитного осаждения. Благодаря простоте реализации устройств для магнитной обработки водно-дисперсных систем в производст-

венных условиях, это направление все чаще используется на предприятиях [3], невзирая на незавершенность технических и особенно научных разработок.

Наиболее простыми устройствами для очистки сточных вод от механических примесей являются отстойники, в основе которых лежит принцип гравитации – действие на частицы только массовых сил тяжести.

Процесс осаждения механических примесей достаточно хорошо изучен и успешно используется для очистки в отстойниках. В основе принципа магнитного отстойника лежит эффект взаимодействия частиц магнитных материалов с внешним магнитным полем. Сила взаимодействия описывается выражением [4]:

$$F_m = \mu_0 \cdot \chi \cdot V \cdot H \cdot \text{grad} H \quad (1)$$

где F_m - магнитная сила, действующая на частицу, Н; μ_0 - магнитная проницаемость среды, Гн/м; χ - магнитная восприимчивость частицы, м³/кг; V - объем частицы, м³; H - напряженность магнитного поля, А/м; $\text{grad} H$ - скорость изменения магнитного поля, А/м².

Эффективность осаждения примесей зависит от величины поверхности осаждения, расхода, вязкости, пути перемещения жидкости, а также конструктивных особенностей. Выявлено (рис.1), что скорость осаждения частиц в магнитном поле возрастает в десятки раз по сравнению с осаждением под действием сил тяжести [3].

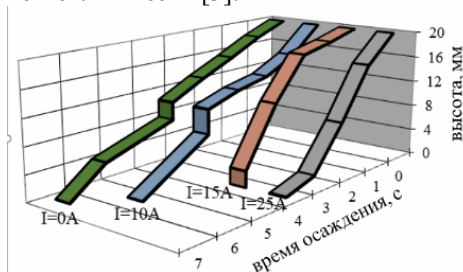


Рисунок 1 – Зависимость времени осаждения примесей от высоты зоны осаждения

Несмотря на это, прогнозирование работы отстойников с магнитной системой при их проектировании, в особенности при осаждении неоднородных взвесей, применяется недостаточно широко.

Таким образом, повышение эффективности технологии очистки производственных сточных вод с магнитной системой становится очень актуальным заданием, поскольку является весомым резервом совершенствования технологических процессов.

Список использованных источников

1. Запольский А.К. Фізико-хімічні технології очищення стічних вод / А.К. Запольський. – К.: Вища школа, 2005. — 671 с.

2. Долина, Л. Ф. Современная технология и сооружения для очистки нефтесодержащих сточных вод [Текст]: монография / Л. Ф. Долина. - Днепропетровск: Континент, 2005. – 296 с.
3. Просвирнин В.И. Очистка технических жидкостей в магнитных отстойниках / В.И. Просвирнин, Е.П. Масюткин, В.Б. Гулевский // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь, 2004. - Вип. 24.- С. 39-47.
4. Дергач В.Г. Специальные методы обогащения полезных ископаемых / В.Г. Дергач. – М.: Недра, 1966. – 375 с.

**Дайнеко В.А., к.т.н., доцент, Равинский Н.А., ст. преподаватель,
Ковширко Е.Н., магистрант**

***УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь***

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ВОДОСНАБЖАЮЩИХ УСТАНОВОК

Электропривод водоснабжающих установок сельскохозяйственного назначения обычно построен на основе погружных асинхронных трехфазных электродвигателей с короткозамкнутым ротором (АД). Отказы оборудования происходят из-за повреждений насоса, электродвигателя и системы управления. Основные виды повреждений – механический износ, повреждение изоляции кабеля и обмоток АД, отказ системы управления.

Проблему повышения эксплуатационной надежности электроприводов можно решить при условии непрерывной диагностики АД в рабочих режимах, что позволяет предупредить развитие повреждений. Эффективным путем повышения надежности установок водоснабжения является защита от импульсных и атмосферных перенапряжений кабеля, электродвигателя и шкафа управления.

Для контроля изоляции разработано микропроцессорное устройство, которое обеспечивает измерение текущего значения сопротивления изоляции системы «вторичная обмотка трансформатора - кабель - обмотка статора электродвигателя» и определяет коэффициент адсорбции.

Разработаны технические мероприятия в соответствии с ГОСТ 32144-2013 «Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения» по обеспечению защиты оборудования от атмосферных и коммутационных перенапряжений». Предложена конструкция шкафа управления, оснащенная ограничителями импульсных перенапряжений.

Для обеспечения электромагнитной совместимости частотно-регулируемого электропривода разработаны предложения по выбору дросселей, фильтров и экранированных кабелей, подавляющих помехи, генерируемые ШИМ-инвертором преобразователя частоты.

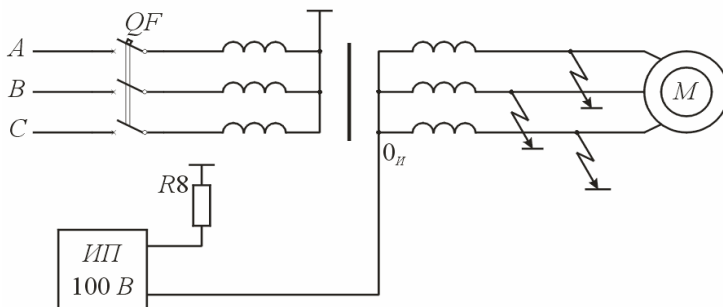


Рис.1. Схема контроля изоляции электродвигателя при питании через разделительный трансформатор

Электронасосы установок, предназначенных для объектов с повышенными требованиями к надежности водоснабжения, рекомендовано подключать через разделительные трансформаторы (рис.1). При схеме питания с изолированной нейтралью обеспечивается непрерывный контроль сопротивления изоляции электродвигателя и питающего кабеля, а насос сохраняет работоспособность при замыкании одной из фаз на «землю». Схема защиты в этом случае может быть настроена на «сигнал», а водоснабжение сохраняется до переключения на резервный насос. Частой причиной выхода из строя электродвигателя погружного насоса является обрыв одной из фаз со стороны питания. В варианте с питанием АД от преобразователя частоты, обрыв фазы не приводит к остановке насоса, так как на выходе ПЧ сохраняется трехфазный режим. Происходит некоторое снижение мощности электропривода, но водоснабжение не прекращается до восстановления нормального электроснабжения.

Использование разработок и рекомендаций, изложенных в статье при проектировании электропривода водоснабжающей установки, по мнению авторов, повысит надежность водоснабжения сельскохозяйственных объектов.

Список использованных источников

1. ГОСТ 32144-2013. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения
2. Жежеленко, И.В. Электромагнитная совместимость в электрических сетях: Учеб. пособие для студентов и магистрантов учреждений об-

разования по энергетическим специальностям / И.В. Жежеленко, М.А. Короткевич. – Минск: Выш. шк., 2012. – 197 с.

3. Браславский И.Я. Энергосберегающий асинхронный электропривод: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / И.Я. Браславский, З.Ш. Ишматов, В.Н. Поляков; Под ред. И.Я.Браславского. – М.: Издательский центр «Академия», 2004.-256с.

**Демидков С.В., к.т.н., доцент, Коротинский В.А., к.т.н., доцент
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь
СПОСОБ ХОЛОДНОЙ ПАСТЕРИЗАЦИИ МОЛОКА**

С целью увеличения сроков хранения молока, а также его очистки от болезнетворных микроорганизмов используются традиционные термические методы обработки. Наиболее распространенным способом обработки цельного молока в настоящее время является тепловая обработка (нагрев, охлаждение) в процессе производства молочных продуктов [1]. Однако, общим недостатком традиционных методов является снижение содержания полезных веществ в молоке и высокие энергозатраты.

Постановка задачи.

Как известно, в неоднородной среде, помещенной во внешнее электрическое поле, на границах неоднородностей возникают пондеромоторные силы, действующие вдоль направления вектора напряженности электрического поля [1]. С целью уничтожения микроорганизмов путем их механического разрушения предлагается воздействовать на молоко электростатическим полем.

Анализ силового воздействия электростатического поля.

При определении напряжений внутри микроорганизма примем схему распределения электрического поля вокруг и внутри микроорганизма, показанную на рис.1. и воспользуемся выражением механического напряжения, возникающего на границе сред с разной диэлектрической проницаемостью в электрическом поле [2]:

$$\sigma_n = D^2 \cdot (1/\epsilon^{(e)} - 1/\epsilon^{(i)})/2, \quad (1)$$

где σ_n - тензор механических напряжений на границе микроорганизма, $\epsilon^{(e)}$ - относительная диэлектрическая проницаемость среды вне бактерии, $\epsilon^{(i)}$ - относительная диэлектрическая проницаемость микроорганизма, ϵ_0 - диэлектрическая постоянная, D - величина вектора электрического поля ($D = \epsilon_0 \epsilon^{(i)} E^{(i)} = \epsilon_0 \epsilon^{(e)} E^{(e)}$).

В [1] показано, что электростатическое поле границе сред с разной диэлектрической проницаемостью создает механическое напряжение, направленное нормально к поверхности раздела сред.

Оценка параметров механических напряжений, создаваемых электростатическим полем на поверхности мембраны микроорганизма.

Считаем, что $\varepsilon^{(i)} \in [1, \infty]$. Тогда $\sigma_n^{(i)} \approx \frac{\varepsilon_0 \varepsilon^{(e)}}{2} E_x^{(e)2}$. Поскольку

$\varepsilon^{(e)} = 3$ [2], а величина напряженности электростатического поля, требуемого для разрыва микроорганизма, составляет от 10^3 кВ/м до 10^4 кВ/м (при этом $\sigma^{(i)} \in [10, 10^3]$ н/м²). В [1] экспериментальным путем было показано, что при воздействии переменного электрического поля с напряженностью $E^{(e)} \approx 3 \cdot 10^3$ кВ/м происходит пастеризация молока. Этот факт подтверждает работоспособность предложенной в данной статье теоретической модели.

Реализация механизма пастеризации молока электростатическим полем.

Схема устройства для холодной пастеризации молока показана на рис.2.

Одна из возможных конструкций устройства для холодной пастеризации молока представляет собой набор спеченных металлических шариков, подключенных к одному из электродов источника постоянного напряжения.

Молоко пропускают через заданный объем фильтра. При этом сама молочная среда соединена электрически с другим электродом источника

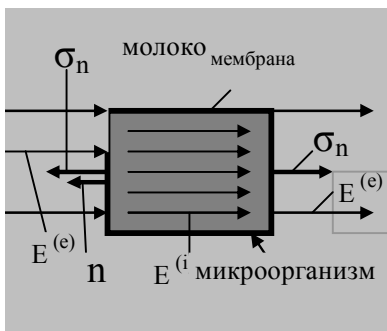


Рис.1 Схема распределения электростатического поля вокруг и внутри микроорганизма

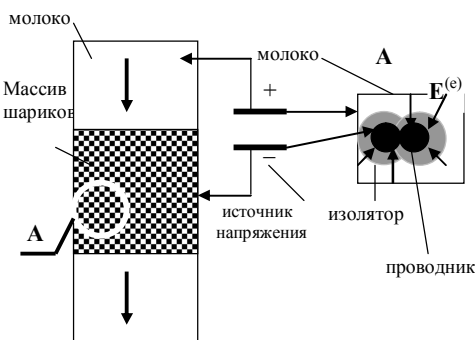


Рис.2 Схема устройства для холодной пастеризации молока.

напряжения. Вследствие наличия проводимости у молока и изолированности его от металлических шариков электрический потенциал в любой точке объема молока одинаков. Следовательно, прохождение молока через фильтр будет осуществляться в условиях воздействия на него статического электрического поля $E^{(e)} \approx U/\Delta$, где U - напряжение источника, а Δ - толщина оксидной пленки. Следовательно, на частицы молока, находящиеся вблизи поверхности шариков, будет действовать механическое напряжение, определяемое соотношением (1), в результате чего будет осуществляться механическое разрушение микроорганизмов, содержащихся в молоке.

Заключение.

1. Предложен способ электростатического воздействия на молоко с целью его обеззараживания и консервации, исключающий фактор термического воздействия и требующий минимума энергозатрат.
2. Предложена принципиальная схема устройства для холодной пастеризации молока.

Список использованных источников

1. Ганжа, В.Л. Энергосберегающая электроимпульсная технология пастеризации жидкотекучих пищевых продуктов/ В.Л. Ганжа, Г.М. Васильев, В.А. Васецкий. – Минск: ИТМО им. А.В. Лыкова НАНБ, 2003, 27с.
2. Ландау, Л.Д. Электродинамика сплошных сред/ Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц – М: Наука, 1982, 661с.

Дубодел И.Б., к.т.н., доцент, Кардашов П.В., к.т.н., доцент,

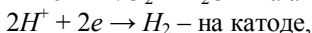
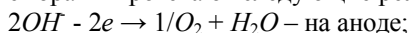
Корко В.С., к.т.н., доцент

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь

ОБОСНОВАНИЕ И ВЫБОР ТИПА МЕМБРАН

ЭЛЕКТРОКОАГУЛЯТОРА БЕЛКОВ КАРТОФЕЛЬНОГО СОКА

Картофельный сок, представляющий собой раствор аминокислот, таких органических, как лимонная, щавелевая, яблочная, являющихся слабыми электролитами, имеет в естественном состоянии $pH = 6,5$, что говорит о невысокой преобладающей концентрации ионов водорода ($C_{H^+} \approx 3,2 \cdot 10^{-4}$ г-ион/м³). При обработке сока постоянным электрическим током без разделительной мембраны протекают следующие реакции:



что не приводит к изменению pH , так как убыль ионов H^+ и OH^- будут эквивалентны.

Снижение pH происходит в том случае, если электрохимически изменять концентрацию либо ионов водорода, либо ионов гидроксила, что осуществимо с использованием разделительных мембран.

Задача исследования состояла в установлении зависимости скорости «старения» мембран с целью выбора оптимальной из них.

Исследовали мембраны марок МА-40, МК-40, бельтинг.

Для приготовления рабочих образцов выбирали участки листа одинаковой толщины, однородные по виду и без каких-либо внешних дефектов. Затем вырезали образцы размером $1,5 \times 2,5$ мм. Геометрические размеры измеряли микрометром с ценой деления $0,01$ мм.

Полученные образцы подвергали химической обработке с целью удаления примесей (особенно железа). Для чего мембраны промывали под струей теплой воды с температурой не выше 40°C . Затем тщательно протирали ватным тампоном, смоченным этиловым спиртом. Потом образцы помещали на фильтровальную бумагу и просушивали на воздухе при комнатной температуре.

Через 10 минут мембраны опускали в емкость из оргстекла (некорродирующая) с дистиллированной водой для набухания и удаления растворимых в воде примесей. При этом мембраны были покрыты водой так, чтобы над ними находился слой воды не менее 5 см, где выдерживали в течение 48 часов, меняя воду 2 раза в день. После набухания в воде мембраны погружали в картофельный сок и выдерживали 24 часа, меняя сок 3 раза.

Затем образцы промывали дистиллированной водой.

Экспериментальная установка включала ячейку прямоугольной формы с графитовым анодом марки ГЭ и катодом из нержавеющей стали марки 12Х18Н9Т и сменной мембранной перегородкой.

Продолжительность испытания составила 12 часов при плотности тока 440, 730, 1020 $\text{A}/\text{м}^2$.

Ячейку заполняли картофельным центром и омметром измеряли сопротивление $R_{\text{я}}$. Затем устанавливали один из образцов мембраны и снова измеряли сопротивление $R_{\text{ям}}$, тогда сопротивление мембраны

$$R_{\text{м}} = R_{\text{ям}} - R_{\text{я}}$$

Сок обрабатывали до $pH = 4,8$ и $t = 40^{\circ}\text{C}$, через каждые 3 часа испытаний измеряли сопротивление мембраны.

Результаты эксперимента представлены в таблице 1, анализ которой показывает, что при электрокоагуляции сопротивление мембраны из бельтинга изменяется лишь на 9%, для мембран МА-40 и МК-40 – на 15%. Скорость «старения» также минимальна для бельтинговой мембраны.

Таким образом, с точки зрения наименьших затрат энергии оптимальной является мембрана из бельтинговой ткани.

Таблица 1 – Изменение сопротивления мембраны в зависимости от плотности тока и времени испытания

Тип мембраны,	Плотность тока, А/м ²	Время испытания, ч					Изменение сопротивления, Ом/м	Скорость старения, Ом/(м ² ·ч)
		0	3	6	9	12		
		Сопротивление мембраны, Ом						
Бельтинговая ткань	0	100	100	100	100	100	0	0
	440	100	105	110	116	117	4,56	0,38
	730	100	108	114	117	118	4,80	0,40
	1020	100	110	115	119	120	5,04	0,42
МК-40	0	165	165	165	165	165	0	0
	440	150	165	180	195	196	12,00	1,00
	730	150	170	187	200	201	13,20	1,10
	1020	150	175	194	204	205	13,44	1,12
МА-40	0	165	165	165	165	165	0	0
	440	165	185	205	219	220	15,60	1,30
	730	165	190	213	225	225	16,20	1,35
	1020	165	195	218	228	230	17,16	1,43

Заяц Е.М., д.т.н., профессор, Янко М.В.

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СКОРОСТИ РОСТА ХЛЕБОПЕКАРНЫХ ДРОЖЖЕЙ *SACCHAROMYCES CEREVISIAE*

На скорость роста аэробных микроорганизмов влияет множество факторов. В частности, скорость роста хлебопекарных дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* зависит от концентрации кислорода в среде, концентрации питательных веществ, состава питательного раствора, температуры среды и диффузии ионов питательных веществ через поры мембраны клетки, [1].

В соответствии с законом Фика скорость изменения концентрации веществ внутри клетки с учетом влияния Ен среды можно представить в виде:

$$\frac{dS_1}{d\tau} = \frac{D_\phi}{h} \pi R_c^2 \frac{4x}{3\pi R_c^3} (S - S_1) = \frac{4}{3} \frac{D_\phi x}{h R_c} (S - S_1), \quad (1)$$

где S_1 – концентрация вещества в клетке, кг/м³; τ – время, с; D_ϕ – скорость диффузии ионов питательных веществ через поры мембраны клетки; h – толщина диффузионного слоя, м; πR_c^2 – площадь поверхности

клетки, m^2 ; x – объем клеточной массы в единице объема среды m^3/m^3 ;
 $\frac{3}{4}\pi R_c^3$ – объем одной клетки m^3 ; S – концентрация вещества в среде,
 $κz/m^3$; $\frac{3}{4}\frac{x}{\pi R_c^3}\frac{D_\phi}{h}(S - S_1)\pi R_c^2$ – коэффициент массопередачи, l/c .

Система дифференциальных уравнений, описывающих процессы биосинтеза в процессе выращивания хлебопекарных дрожжей с учетом (1) имеет вид [2]:

$$\begin{cases} \frac{dx}{d\tau} = \mu_m \frac{xS_1}{S_1 + K_S}, \\ \frac{dS_1}{d\tau} = \frac{4}{3}\frac{D_\phi x}{hR_c}(S - S_1) - \alpha\mu_m \frac{xS_1}{S_1 + K_S}, \end{cases} \quad (2)$$

где K_S – субстратная константа, $κz/m^3$; μ_m – удельная скорость роста хлебопекарных дрожжей, l/c ; α – коэффициент диссоциации основных и кислотных группы в водном растворе,

$$\alpha = \sqrt{\frac{K_\alpha K_\beta}{K_w}}, \quad (3)$$

где K_α, K_β, K_w – константы диссоциации кислотной, основной групп и воды, соответственно.

Из стационарного решения следует, что

$$(S - S_1)(S_1 + K_S) - \frac{3\alpha\mu_m hR_c S_1}{4D_\phi} = 0, \quad (4)$$

$$K_S S + \left(S - K_S - \frac{3\alpha\mu_m hR_c}{4D_\phi} \right) S_1 - S_1^2 = 0, \quad (5)$$

$$\begin{array}{c} \text{откуда} \\ S_1 = \frac{A}{2} + \sqrt{\frac{A^2}{4} + K_S S}, \end{array} \quad (6)$$

где

$$A = S - K_S - \frac{3\alpha\mu_m hR_c}{4D_\phi}. \quad (7)$$

Скорости диффузии ионов питательных веществ через поры мембраны дрожжевой [1]:

$$D_{\phi} = D_0 \cdot e^{\left(\frac{eF\phi_n}{RT}\right)}, \quad (8)$$

где D_0 – коэффициент диффузии питательного вещества через мембрану клетки и в среде, m^2 / c ; e – эмпирический коэффициент; ϕ_n – потенциал на входе в пору мембраны клетки, B ; F – число Фарадея, $Kл / моль$; R – универсальная газовая постоянная, $Дж / (моль \cdot K)$; T – температура, K .

Подставив (8) в (7) получим:

$$A = S - K_s - \frac{\mu_m}{K_0 \cdot e^{\left(\frac{eF\phi_n}{RT}\right)}}, \quad (9)$$

$$\text{где } K_0 = \frac{4D_0}{3\alpha h R_c}.$$

Подставив (6) в первое уравнение системы (2) получим уравнение скорости роста хлебопекарных дрожжей, учитывающее влияние Eh среды:

$$\frac{dx}{d\tau} = \mu_m \frac{x \left(\frac{A}{2} + \sqrt{\frac{A^2}{4} + K_s S} \right)}{K_s + \frac{A}{2} + \sqrt{\frac{A^2}{4} + K_s S}}. \quad (10)$$

Предложенная математическая модель определяет зависимость скорости роста хлебопекарных дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* от концентрации ионов в среде и скорости диффузии ионов питательных веществ через пору мембраны клетки.

Список использованных источников

1. Янко, М.В. Аэроионная активация некоторых микробиологических процессов / М.В. Янко, Е.М. Заяц // Агропанорама. – 2019. – № 1 (131) – С. 28-29.
2. Перт, С. Дж. Основы культивирования микроорганизмов и клеток / С.Дж. Перт; перев. с англ. Т.А. Петрова, И.Н. Позмогова; под ред. И.Л. Работновой – Москва : Издательство «Мира», 1978. – 334 с.

Иванов В.П., д.т.н., профессор; Дронченко В.А.

Полоцкий государственный университет

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС УТИЛИЗАЦИИ

НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ РЕМОНТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Ключевые слова: нефтесодержащие отходы, эмульсия, утилизация, сжигание

Аннотация. Представлен технологический процесс утилизации нефтесодержащих отходов ремонтного производства, включающий: приготовление нефтесодержащей эмульсии; использование эмульсии в качестве добавки к основному топливу котельных; использование эмульсии как материал антиадгезионных покрытий.

Необходимость разработки процесса утилизации нефтесодержащих отходов (НСО) обусловлена следующим факторами [1]:

- вредностью НСО на рабочих местах;
- наличием на производстве большого количества таких отходов в качестве вторичных энергоресурсов;
- высокими требованиями к защите окружающей среды;
- более низкими затратами, связанными с использованием термического способа утилизации, по сравнению с химическим и биологическими способами;
- более полным сгоранием топлива в котлах в присутствии капель нефтесодержащей эмульсии, уменьшением выбросов оксидов азота и углерода (II) в атмосферу.

Полный технологический процесс утилизации НСО производства включает три технологических процесса (рисунок 1) [1–4]:

- приготовление нефтесодержащей водной эмульсии;
- использование в качестве добавки к котельному топливу;
- использование как материал антиадгезионных покрытий.

Срок хранения эмульсий, получаемых с помощью промышленных смесителей, не превышает одной недели. Стабильность эмульсий, полученных на основе результатов исследования, сохраняется до одного месяца и достигается за счет уменьшения размеров неразрушенных капель эмульсии при использовании пневматического излучателя (ПИ). Устройство для приготовления эмульсий на основе НСО, которое защищено патентом Республики Беларусь.

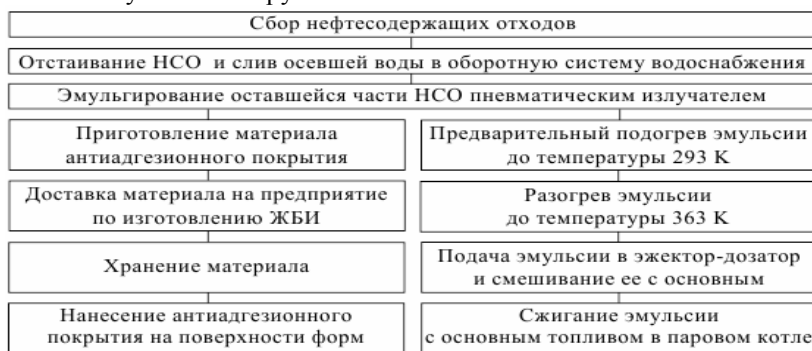


Рисунок 1. – Схема процессов приготовления эмульсии из НСО и ее последующего использования

Технологический процесс приготовления нефтесодержащей эмульсии состоит из следующих операций [3, 4]:

- сбор и подготовка НСО к переработке. Сточные воды, содержащие НСО (из очистных сооружений), подают в бак, в котором они отстаиваются, воду сливают через нижний патрубок с краном;
- подготовка раствора эмульгатора. В рабочую ёмкость заливают воду (объем, которой определяют по высоте её столба), затем добавляют эмульгатор (объём измеряют мерной колбой), жидкость перемешивают до полного растворения эмульгатора с помощью пневматического излучателя. В качестве эмульгатора используют ТМС Лабомид-101 в количестве 3% от объема воды и негашеную известь в количестве 1,5% от объёма воды (при последующем использовании эмульсии в качестве добавки к топливу известь не добавляют). Содержание воды в товарной эмульсии при продаже другим предприятиям составляет 30%, а при использовании непосредственно на своем предприятии – 40%;
- подача НСО в раствор эмульгатора. Отстоявшиеся НСО из бака насосом подают в рабочую емкость с ПИ;
- подогрев компонентов при помощи трубчатого электронагревателя до температуры 20 °С;
- приготовление эмульсии при помощи ПИ. Давление подаваемого сжатого воздуха должно быть в пределах 0,4–0,6 МПа, частота импульсов составляет 90 мин⁻¹, продолжительность эмульгирования – 15 минут;
- перекачка приготовленной эмульсии насосом в сборный бак или в емкости для доставки потребителям.

Технологический процесс утилизации нефтесодержащей эмульсии путем использования ее в качестве добавки к топливу при сжигании в котельных состоит из следующих операций [2]:

- доставка и хранение эмульсии в емкости при котельной;
- подогрев подаваемой к паровому котлу эмульсии при помощи трубчатого электронагревателя до температуры 20 °С;
- разогрев эмульсии непосредственно перед использованием до температуры 90 °С;
- подача нагретой эмульсии в топку парового котла топливной струей, проходящей через эжектор-дозатор форсунки. Заданное соотношение «эмульсия – топливо» поддерживается автоматически при изменении расхода топлива;
- сжигание топливной смеси.

Технологический процесс приготовления водомасляной эмульсии для использования в качестве добавки к основному топливу котельной, оборудованной котлами ДКВр 6,5 ГМ, внедрен в ОАО Полоцкий завод «Проммашремонт».

Список использованных источников

1. Иванов В.П. Охрана труда рабочих и защита окружающей среды от вредного влияния нефтесодержащих отходов : научное издание. / В.П. Иванов, В.А. Дронченко. – Новополоцк: ПГУ, 2016. – 248 с.
2. Дронченко, В. А. Получение мелкодисперсной эмульсии на основе нефтесодержащих отходов и ее утилизация / В. А. Дронченко // Вестн. БрГТУ. Машиностроение. – 2017. – № 4 (106). – С. 51–54.
3. Дронченко, В. А. Влияние содержания воды на стабильность эмульсии на основе отработавших нефтесодержащих продуктов / В.А. Дронченко // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. В, Промышленность. Прикладные науки. – 2015. – № 11. – С. 82–86.
4. Дронченко, В. А. Рециклинг жидких производственных отходов, содержащих нефтепродукты / В.А. Дронченко // Ресурсосберегающие и экологически чистые технологии ; под ред. А.И. Свириденка. – Ч. II. Труды второй науч.-техн. конф. – Гродно, 1997. – С. 308–311.

Иванов В.П., д.т.н., профессор; Дронченко В.А.; Семенов В.И., к.т.н.
Полоцкий государственный университет

ВЛИЯНИЕ ВЛАГОСОДЕРЖАНИЯ ЭМУЛЬСИИ НА ОСНОВЕ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ НА КОНЦЕНТРАЦИЮ ОКСИДОВ АЗОТА В ДЫМОВЫХ ГАЗАХ

Ключевые слова: оксиды азота, нефтесодержащие отходы, эмульсия, утилизация, геоэкология

Аннотация. Представлены результаты экспериментальных исследований влияния влагосодержания эмульсии на основе нефтесодержащих отходов предприятий по ремонту технологического оборудования на концентрацию оксидов азота в дымовых газах.

Защита окружающей среды является важным направлением социально-экономической политики Республики Беларусь. Ремонт технологического оборудования связан с образованием нефтесодержащих отходов (НСО), которые создают высокую экологическая опасность загрязнения окружающей среды [1]. Доля масел в отходах ремонтного производства составляет 94 %. Улучшение экологической ситуации определяется необходимостью комплексного решения в части исключения вредного влияния на окружающую среду нефтесодержащих отходов путем использования их для приготовления товарных продуктов, не требующих высокой степени очистки сырья от механических примесей, а наличие воды в них не является недостатком.

В [2] отмечено, что NO_x образуются при сжигании топлива в зонах высокой температуры. Ввод воды или водяного пара в топливно-воздушную смесь влияет на процесс горения и образования NO_x [2]. Водяные пары влияют на скорость распространения пламени, а, следовательно, ввод даже небольшого их количества в ядро зоны горения должен заметно влиять на выход оксидов азота.

Результаты экспериментальных исследований влияния содержания воды в эмульсии на концентрацию оксидов азота представлены на рисунке 1. Снижение концентрации достигнуто благодаря сокращению времени пребывания продуктов сгорания в высокотемпературной зоне, где наиболее интенсивно происходит образование оксидов азота из-за уменьшения температуры и длины факела (вследствие повышения влагосодержания сжигаемого топлива).

В результате экспериментальных исследований установлено, что сжигание эмульсии на основе НСО (10–20% воды) с основным топливом в топке парового котла обеспечивает снижение выбросов в атмосферу оксида углерода (II) на 43–59% и оксидов азота на 28–45 % по сравнению со сжиганием только основного топлива. Использование эмульсии на основе НСО в качестве добавки к топливу позволяют уменьшить потребление основного топлива котельной на 3–5% [3–5].

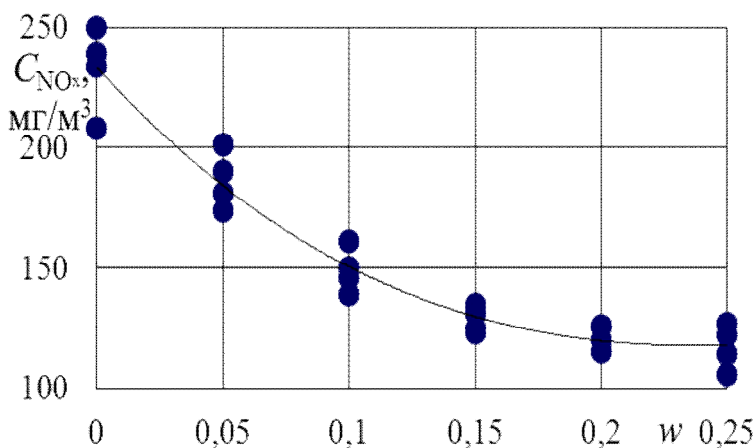


Рисунок 1. – Влияние влагосодержания эмульсии w на концентрацию оксидов азота C_{NO_x} в дымовых газах

Результаты экспериментальных исследований по определению влияния содержания воды в эмульсии на КПД парового котла (при номинальной нагрузке котла) представлены в таблице 1 и свидетельствуют о не-

большом снижении КПД с возрастанием влагосодержания эмульсии, а следовательно необходимости большего расхода топлива. Однако благодаря высокой теплотворной способности эмульсии достигается снижение расхода основного топлива [3].

Таблица 1. – Влияние содержания воды в эмульсии на КПД при номинальной нагрузке котла

Содержание воды в эмульсии, %	КПД котла, %			
	1	2	3	4
0	84,1	82,6	81,0	78,3
5	82,3	81,2	79,6	81,4
10	78,7	80,9	81,0	83,2
15	80,8	82,0	80,9	79,7
20	80,5	81,3	80,7	78,8

Таким образом, добавление к топливу, сжигаемому в котельных установках, мелкодисперсной эмульсии на основе НСО и отработанных растворов технических моющих средств позволяет не только утилизировать эти вещества, но и снизить концентрацию оксидов азота NO_x в дымовых газах.

Список использованных источников

1. Иванов, В. П. Защита окружающей среды от отработавших водных растворов технических моющих средств / В.П. Иванов, В.А. Дронченко // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. Ф, Строительство. Прикладные науки. – 2016. – № 8. – С. 160–165.
2. Сигал, И. Я. Очистка промышленных выбросов от оксидов серы и азота / И.Я. Сигал, В.И. Славин, В.В. Шило. – Харьков: Оригинал, 1999. – 142 с.
3. Иванов, В.П. Утилизация сточных вод с нефтесодержащими отходами эмульгированием и сжиганием / В.П. Иванов, В.А. Дронченко // Вестник Белорус. гос. с.-х. акад. – 2015. № 4. – С.141–146.
4. Семенов, В.И. Снижение выбросов оксидов азота при работе котельных установок / В.И. Семенов, В.А. Дронченко // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. В. Промышленность. Прикладные науки. – 2016. № 3. – С. 186–190.
5. Дронченко, В. А. Защита окружающей среды от вредного воздействия отработанных растворов, образующихся при погружной очистке машин и деталей / В. А. Дронченко, В. И. Семенов // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. Ф, Строительство. Прикладные науки. – 2017. – № 8. – С. 194–199.

**Иванов Д.М., ассистент, Нефедов С.С., ассистент
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь**

**ВЕКТОРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ КАК НАИБОЛЕЕ ПРОГРЕССИВНЫЙ
МЕТОД УПРАВЛЕНИЯ ПОТОКОСЦЕПЛЕНИЕМ И
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ МОМЕНТОМ АСИНХРОННОГО
ДВИГАТЕЛЯ**

Наиболее распространёнными электродвигателями, применяемыми в различных отраслях промышленности и сельского хозяйства, являются двигатели переменного тока. Предпочтение отдаётся асинхронным двигателям (АД), которые составляют более 75 % общего числа электродвигателей. Это наиболее надёжные и простые по своей конструкции машины переменного тока с хорошими энергетическими показателями. Однако у данного типа двигателей возникают сложности регулирования скорости вращения вала.

В свою очередь двигатели постоянного тока с независимым возбуждением (ДПТ НВ) обладают лучшей управляемостью, но имеют более сложную конструкцию, увеличенные массогабаритные размеры и большую стоимость. Поэтому производители всегда стремились достичь такого же уровня управляемости в более простых и надёжных АД.

Сегодня с развитием микропроцессорной техники на базе полностью управляемых полупроводниковых приборов, основой которых является трёхслойная структура металл-оксид-полупроводник силовых IGBT – транзисторов, указанную проблему регулирования скорости АД возможно решить с помощью преобразователя частоты. Данные устройства позволяют реализовать различные законы регулирования, построенные по скалярному и векторному управлению.

При скалярном управлении частотно-амплитудное изменение напряжения питания определяется по отношению $U/f = \text{const}$. В математической основе скалярного управления лежат уравнения, описывающие установившиеся режимы работы двигателя, когда скорость и момент нагрузки двигателя остаются неизменными. Поэтому в динамических системах, при изменении скорости и нагрузки в широком диапазоне, корректность математической модели нарушается, что обуславливает существенные недостатки скалярного управления:

- узкий диапазон скоростного регулирования и низкий момент на малых скоростях;
- низкая эффективность при динамически изменяющейся нагрузке;
- относительно невысокое быстродействие.

В сложных системах, в которых существуют значительные возмущающие воздействия и требуются при управлении широкие диапазоны нагрузочных моментов и угловых скоростей, предпочтение отдаётся векторному управлению. Его математической основой являются дифференциальные уравнения, описывающие работу АД одинаково корректно как в динамическом, так и статическом режиме работы. При данном управлении обеспечивается не только формирование гармонического тока (напряжения), как в скалярном управлении, но и осуществляется регулирование потокосцепления и электромагнитного момента двигателя при этом диапазон регулирования близок к ДПТ НВ. Векторное управление обеспечивает:

- высокую точность;
- широкий диапазон регулирования;
- быстрое реагирование на изменение нагрузки;
- снижаются потери на нагрев и намагничивание, повышается КПД электродвигателя.

Сущность векторного управления заключается в следующем. В АД различают три вектора потокосцепления: статора $\overline{\psi_1}$, взаимоиндукции $\overline{\psi_m}$ и ротора $\overline{\psi_2}$, которые в осях х-у неподвижны. Каждый из этих векторов потокосцепления можно использовать для формирования электромагнитного момента [1,2].

При векторном управлении создаются условия подобные тем, которые имеются в ДПТ НВ [1,3]:

- перпендикулярность векторов, которые формируют электромагнитный момент;
- возможность независимого регулирования магнитного потокосцепления и электромагнитного момента.

Так как АД имеет только один канал управления по напряжению (или току) статора, для реализации независимого регулирования потокосцепления и электромагнитного момента при векторном управлении вводят компенсирующие напряжения и выделяют две составляющие вектора тока статора: намагничивающую и моментную. Намагничивающая составляющая определяет требуемое потокосцепление, а моментная регулирует величину электромагнитного момента двигателя. Полученные составляющие вектора тока статора аналогичны току возбуждения и току якоря ДПТ НВ.

Существует много видов векторного управления, для наглядности на рисунке 1 приведена структурная схема.



Рис. 1 – Классификация векторного управления

Каждый вид векторного управления может отличаться использованием потокосцеплений: ψ_1 , ψ_m или ψ_2 .

Наиболее распространённым векторным управлением, которое используется в подавляющем большинстве систем, является бездатчиковое косвенное векторное управление с поддержанием потокосцепления по ротору АД. Данный вид управления наиболее простой и не требует дополнительных элементов в схеме, что увеличивает её надёжность, но снижает точность. В данных системах точность поддержания скорости примерно в 100 раз меньше по сравнению с системами, где она измеряется датчиками [3]. Тем не менее, для большинства систем в которых не требуется управление моментом при нулевой скорости данного вида управления достаточно, диапазон регулирования при бездатчиковом косвенном векторном регулировании лежит в пределах 1:100, а скалярного управления не превышает 1:10, поэтому выбор в пользу данного вида управления очевиден.

Из всего вышесказанного можно сделать вывод, что в современных сложных системах, большинство из которых являются динамическими, применение скалярного управления не всегда позволяет достичь должного результата, из-за неспособности данного управления быстро реагировать на возмущающие воздействия. В данных системах предпочтение отдаётся векторному управлению, которое значительно быстрее реагирует на изменение нагрузки и позволяет достигать широкого диапазона регулирования скорости и поддержания момента на малых скоростях.

Список использованных источников

1. Фираго, Б.И. Теория электропривода: учеб. пособие. 2-е изд./ Б.И. Фираго, Л.Б. Павлячик. – Минск: Техноперспектива, 2007. – 585с.
2. Усольцев, А.А. Частотное управление асинхронными двигателями. Учебное пособие / А.А. Усольцев. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2006. – 94 с.
3. Фираго, Б.И. Векторные системы управления электроприводами: учеб. пособие / Б.И. Фираго, Д.С. Васильев. – Минск: Высшая школа, 2016. – 159с.

**Кардашов П.В., к.т.н., доцент, Корко В.С., к.т.н., доцент,
Дубодел И.Б., к.т.н., доцент, Мрыхин Ф.И., магистрант
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь**
**ОБРАБОТКА СЕМЯН ПЕТРУШКИ
ЭЛЕКТРОАКТИВИРОВАННЫМИ РАСТВОРАМИ**

Одним из перспективных способов повышения всхожести семян с одновременным их обеззараживанием является их обработка электрохимически активированными (ЭХА) растворами. Анолит, фракция ЭХА воды, обладает бактерицидным и фунгицидным действием, а католит, оказывает в ряде случаев биостимулирующее действие на рост и развитие растений. Этот способ экологически чистый, поскольку высокоактивные структуры воды не попадают в конечную продукцию и не влияют на её органолептические свойства.

Задачами экспериментальных исследований являлось определение влияния электрохимически активированных растворов с различным уровнем водородного показателя (рН) и окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) на показатели всхожести и энергию прорастания семян.

В качестве объекта активирования использовалась водопроводная вода с добавлением поваренной соли до 10 г/л. Электрохимически активированные растворы приготовлены при рабочем токе 4А.

Предпосевной обработке подвергали семена петрушки. Исследования проводили по общепринятой методике проведения агрономической оценки. В результате исследований контролировали длину корней и проростков.

Энергия прорастания и всхожесть семян петрушки определялась при использовании растворов со следующими показателями: исходная (водопроводная) вода рН 7,1...7,5, ОВП +250...+309 мВ, католит – рН 7,8...8,2, ОВП -350...-530 мВ, анолит рН 5,1...6,0, ОВП +600...+940 мВ, смесь анолита и католита рН 3,1...4,1, ОВП +700...+900 мВ.

Результаты исследований длины корней для контрольных и обработанных семян петрушки, представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Зависимость длины корней петрушки от обрабатываемого раствора

Культура	Длина корней							
	Контроль		Католит		Анолит		Смесь	
	мм	%	мм	%	мм	%	мм	%
Петрушка листовая	35	100	59	168,5	32	91,4	23	65,7

Результаты исследований длины проростков для контрольных и обработанных семян, представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Зависимость длины проростков петрушки от обрабатываемого раствора

Культура	Длина проростков							
	Контроль		Католит		Анолит		Смесь	
	мм	%	мм	%	мм	%	мм	%
Петрушка листовая	42	100	47	119	38	90,4	27	64,2

По результатам обработки семян петрушки электроактивированными растворами можно сделать следующий вывод: применение электроактивированных растворов, в частности католита, способствует активации ростовых процессов, длина корней увеличивается на 68,5%, длина проростков на 19% по сравнению с контрольной группой.

**Ковалев В.А., к.т.н., доцент, Скочек И.И., ст. преподаватель
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь
ИЗМЕРЕНИЕ ОБЪЕМА ЖИДКОСТИ В РЕЗЕРВУАРАХ
СЛОЖНОЙ ФОРМЫ**

Объем жидкости можно определить при помощи гидростатического уровнемера. Принцип действия, которого основан на зависимости гидростатического давления P от уровня жидкости h .

$$P = \rho gh,$$

где g – ускорение свободного падения,

ρ – плотность жидкости.

В качестве примера на рисунке 1 изображен гидростатический уровнемер, состоящий из измерительного преобразователя (датчика) избыточного давления Сенсор-М-123 и измерителя-регулятора МТ2.

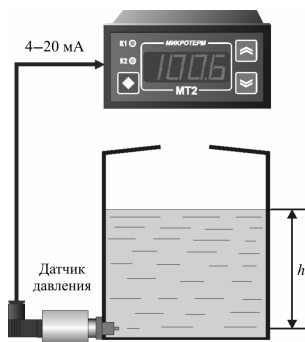


Рисунок 1 – Гидростатический уровнемер

Измерительный преобразователь (датчик) избыточного давления Сенсор-М-123 преобразует гидростатическое давление столба жидкости h в унифицированный линейный токовый сигнал, изменяющийся в диапазоне 4-20 мА, а измеритель-регулятор МТ2 преобразует его в цифровой отсчет значения уровня, объема или массы.

Определив уровень и зная размеры резервуара можно найти объем жидкости. Но зависимость объема жидкости от давления часто получается нелинейной. Для вертикального резервуара, изображенного на рисунке 2 нелинейность возникает из-за нижней конусной части, где наблюдается квадратичная зависимость между уровнем и объемом.

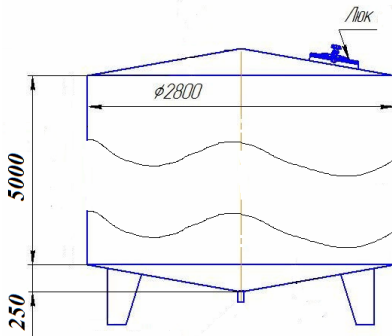


Рисунок 2 – Резервуар объемом 30 м³

В остальной цилиндрической части зависимость остается линейной. Если пренебречь конусной частью то погрешность составляет 1 м³. У горизонтальных цилиндрических резервуаров характеристика еще более нелинейная.

Для решения данной проблемы необходимо адаптировать характеристику измерителя-регулятора МТ2, либо характеристику датчика давления. В первом случае вместо измерителя-регулятора МТ2 придется вос-

пользоваться контроллером, во втором необходимо скорректировать выходной ток датчика давления.

Изначально датчик давления имеет линейную зависимость между током и давлением. Нам же необходимо получить линейную зависимость выходного тока от объема жидкости.

Для расчетов примем резервуар (Рис. 2), заполненный молоком плотностью $1027 \text{ м}^3/\text{кг}$.

Выберем датчик уровня, для чего определим максимальное давление по формуле.

$$P_{\max} = \rho g h = 1027 \cdot 9,815 \cdot 5,25 = 53 \text{ кПа}$$

Примем датчик Сенсор-М-123 на 60 кПа.

Выразим уровень и рассчитаем его для конусной (нелинейной) и цилиндрической (линейной) части резервуара.

$$h = \frac{P}{\rho g}.$$

Найдем зависимость объема от высоты.

$$V = V_{\text{К}} + V_{\text{Ц}},$$

$$\text{где } V_{\text{К}} = \frac{1}{3} \pi \left(\frac{R}{h_{\text{К}}} \right)^2 h^3 - \text{объем конусной части (} h \leq 0,25 \text{ м),}$$

$$V_{\text{Ц}} = \pi R^2 (h - h_R) - \text{объем цилиндрической части резервуара.}$$

Далее найдем зависимость тока от объема.

$$I(V) = I_0 + \frac{I_{\max} - I_0}{V_{\max}} V,$$

где $I_0 = 4 \text{ мА}$, $I_{\max} = 20 \text{ мА}$.

$V_{\max} = 37,6 \text{ м}^3$ – диапазон измерения давления (его необходимо внести в измеритель-регулятор МТ2).

Рассчитаем исходную зависимость тока от давления:

$$I(P) = I_0 + \frac{I_{\max} - I_0}{P_{\max}} P.$$

Поправки характеристики по току:

$$\delta I = I(V) - I(P).$$

Результаты всех расчетов сведем в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты расчетов

h	P	V	$I(V)$	$I(P)$	δI
м	кПа	м ³	мА	мА	мА
0	0	0	4	4	0
0,149	1,5	0,108	4,046	4,4	-0,354
0,249	2,5	0,501	4,213	4,667	-0,454
1,488	15	10,176	8,327	8	0,327
2,976	30	19,326	12,218	12	0,218
4,464	45	28,476	16,109	16	0,109
5,952	60	37,626	20	20	0

Все изменения можно внести в датчик избыточного давления Сенсор-М-123 либо обратившись на завод изготовитель, либо самостоятельно при помощи «USB-адаптера к датчикам с выходом 4-20 мА».

Список использованных источников

1. Хансуваров, К.И. Техника измерения давления, расхода, количества и уровня жидкости, газа и пара [Текст]: учеб. пособие. – М.: Изд-во стандартов, 1990. –287 с.

2. Датчики давления микропроцессорные СЕНСОР-М [Электронный ресурс]. – 2018. – Режим доступа:[http:// www.belsensor.by /rh-sensor-m.pdf](http://www.belsensor.by/rh-sensor-m.pdf).-Дата доступа: 19.11.2019.

3. USB-адаптера к датчикам с выходом 4-20 мА. [Электронный ресурс]: [www.belsensor.by/rh- СЕНСОР-USB-TO-17.pdf](http://www.belsensor.by/rh-СЕНСОР-USB-TO-17.pdf).-Дата доступа: 19.11.2019.

**Козорез А.С., Филиповец П.М.,
ОАО «Завод Промбурвод», г. Минск
Башко Ю.А.**

**Государственное научное учреждение «Институт жилищно-коммунального хозяйства Национальной академии наук Беларуси»
г. Минск**

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СИНХРОННОГО ПРИВОДА ДЛЯ ВОДОПОДЪЁМНОГО ОБОРУДОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Сегодня, во всех странах, где уделяется особое внимание повышению энергетической эффективности процесса подъема воды из артезианских скважин, выделяется тенденция применения электронасосных агрегатов с

синхронными двигателями. Они являются менее энергоемкими в сравнении с существующими агрегатами с асинхронным приводом.

Синхронные электродвигатели отличаются более высоким КПД и соответственно, полезной нагрузкой. Изменение нагрузки приложенной к валу ротора электродвигателя не оказывает влияния на частоту его вращения. При ударных нагрузках сохраняется постоянство частоты вращения двигателя и рабочего колеса насоса.

Вид на синхронный электродвигатель с ротором на постоянных магнитах и его сборочные узлы представлены на рисунке 1.



Рисунок 1 – Представлены фото:

- а) – синхронного электродвигателя; б) – обмотанного статора;
в) – ротора; г) - сегмента ротора с постоянными магнитами

Принимая во внимание преимущества синхронных электродвигателей для привода погружных скважинных насосов в ОАО «Завод Промбурвод» создан типоразмерный ряд электродвигателей шестидюймового габарита с ротором на постоянных магнитах, который, закрывается тремя типоразмерами синхронного электродвигателя.

Конструктивной особенностью работы синхронного электродвигателя является равенство скорости вращения ротора и скорости вращения магнитного потока (поля). С учетом этого для его запуска и работы обязательно требуется система управления с частотным преобразователем.

Оснащение насосного оборудования погружным синхронным электродвигателем и устройством управления дало возможность создания ОАО «Завод Промбурвод» высокоэффективной системы подачи воды СВ – 6.

С целью определения эффективности применения синхронного привода на базе испытательной лаборатории ОАО «Завод Промбурвод» были проведены серии заводских испытаний погружных скважинных насосов серии СПА8-80-нро в составе электронасосных агрегатов с синхронными приводами СВ-6 из типоразмерного ряда двигателей производства ОАО «Завод Промбурвод» и асинхронными аналогами «Franklin Electric».

На основании результатов испытаний произведен расчет удельной потребляемой мощности на $1\text{ м}^3/\text{ч}$ и 1 м напора и относительный показатель снижения (экономии) удельной потребляемой мощности, который

показал, что удельная потребляемая мощность у электронасосных систем с синхронным приводом ниже, чем у агрегатов с асинхронными двигателями-аналогами от 9,51 до 12,55%.

Принимая во внимание тот факт, что повышение эффективности и надежности оборудования связано с определенными материальными затратами произведен расчёт показателей экономической эффективности применения систем электронасосных с синхронным приводом.

Расчёт проводился, с применением стандартных методик оценки экономической эффективности новой техники [1, 2, 3] и программного обеспечения Microsoft «Exel», для образца системы высокоэффективной СВ–6 (26 кВт) имеющего наименьший показатель снижения удельной потребляемой мощности на $1\text{ м}^3/\text{ч}$ и 1 м напора (9,51%) в сравнении с асинхронным электродвигателем (26 кВт) «Franklin Electric» (аналогом) имеющим наибольшую стоимость (асинхронный электродвигатель (26 кВт) «Franklin Electric» – 6 380 бел. руб. и система синхронная СВ–6 (26 кВт) ОАО «Завод Промбурвод» – 11 770 бел. руб. (в ценах на 01.10.2019г.)).

Результаты расчета экономической эффективности применения системы высокоэффективной СВ–6 в сравнении с базовым асинхронным агрегатом «Franklin Electric» показали что, при снижении удельной потребляемой мощности на 9,51 % предполагается годовая экономия электроэнергии до 27 156 кВт·ч.

Расчетный экономический эффект от внедрения системы подачи воды СВ–6 составляет порядка 7 414 бел. рублей (около 3,5тыс. у.е.) (в ценах на 01.10.2019г.) при стоимости оборудования 11 770 бел. руб. без НДС.

При этом простой срок возврата дополнительных капитальных вложений составляет порядка 1,63 года, а динамический срок возврата дополнительных капитальных вложений – 1,88 года.

В настоящее время ведется широкая проверка эффективности применения водоподъемного оборудования с приводом от синхронных систем в производственных условиях на водозаборных скважинах водоканалов Молодечно, Борисова и Новополоцка.

Так водозабор «Фелицианово» УП «Минскводоканал» с октября 2017 года работает на таких системах. За время эксплуатации получена экономия электроэнергии в размере 9,8 %. В первом квартале текущего года, введен в эксплуатацию второй водозабор «Боровляны» этого предприятия, где все скважины оборудованы электронасосными агрегатами с приводом от синхронных систем. За квартал эксплуатации получена экономия в 18 %. На предприятии также ведутся проектные работы на использование высокоэффективных систем еще трех водозаборов.

На водозаборе «Лебедевский» КЖУП «Уником» в течение года эксплуатируется система мощностью 45 кВт, которая сэкономила 82 тыс. кВт*ч электроэнергии или 18,9 %. Вторая система мощностью 37 кВт на этом же водозаборе за три месяца этого года сэкономила 28,4 %. Ожидаемый срок окупаемости этих двух проектов не должен превысить двух лет[4].

В заключение следует отметить, что результаты заводских испытаний и производственной проверки подтверждают эффективность применения синхронного привода в системах подачи воды из скважин, при достаточно высокой стоимости синхронных систем (стоимость высокоэффективных синхронных систем примерно в 1,7 – 2,6 раза выше, чем асинхронных) срок окупаемости их не превышает два года.

Список использованных источников

1. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы экономической оценки. Порядок определения показателей ТКП 151–2008 (02150). Технический кодекс установившейся практики: ОСТ 10.2.18– 2001. – Минск: Минсельхозпрод, 2001. – 14 с. 2.
2. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы экономической оценки: стандарт отрасли: ОСТ 10.2.18–2001. – Минск, 2001. – 32 с. 3.
3. Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки: ГОСТ 23728–88 – ГОСТ 23730–88. – М. : Изд-во стандартов, 1988. – 24 с. 4.
3. Методика определения экономической эффективности технологий и сельскохозяйственной техники / М-во сельского хоз-ва и продовольствия Рос. Федерации; Всерос. науч.-исслед. ин-т экономики сельского хоз-ва. – М., 1998. – 219 с.
4. Хотите экономить электроэнергию на водозаборных скважинах? [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://promburvod.com/coverco.html>. – Дата доступа: 31.07.2019.

Кривовязенко Д.И., ст. преподаватель
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь
К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ИЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТОЧЕК БЕЛКОВ
МОЛОЧНОЙ СЫВОРОТКИ ПРИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОМ
СПОСОБЕ КОАГУЛЯЦИИ

Молочная сыворотка является вторичным сырьевым ресурсом молочной промышленности. Она обладает пищевой и биологической ценностью, имеет специфический химический состав, физико-химические свойства и ряд других характеристик.

Белковый состав молочной сыворотки представлен основными белковыми фракциями: β -лактоглобулины, α -лактоальбумины, иммуноглобулины и бычий сывороточный альбумин [1]. β -лактоглобулины

– главная в количественном отношении белковая фракция молочной сыворотки (50-55%). Сывороточные белки – хороший источник незаменимых аминокислот в организме. Поскольку белки молочной сыворотки обладают ценными биологическими качествами, их выделение и очистка представляется весьма актуальной задачей.

Поставленная задача решается электрохимическим способом коагуляции белков молочной сыворотки, включающем пропускание электрического тока через сыворотку, протекающую между электродами электролизатора, в котором молочная сыворотка протекает последовательно из анодной в катодную зону электролизатора в электрическом поле постоянного тока создаваемом электродами, при этом через сыворотку протекает ток который изменяет величину pH молочной сыворотки. Основным фактором, определяющим величину электрокоагуляции, является количество электричества, протекающего через обрабатываемую среду. Электричество изменяет ионный состав молочной сыворотки и создает концентрацию ионов H^+ и OH^- , в общем виде - pH соответствующий изоэлектрическим точкам коагуляции белков [2].

Для определения изоэлектрических точек белков применены методы потенциометрического титрования, дифференциальной потенциометрии и брэнстедовской рК-спектроскопии.

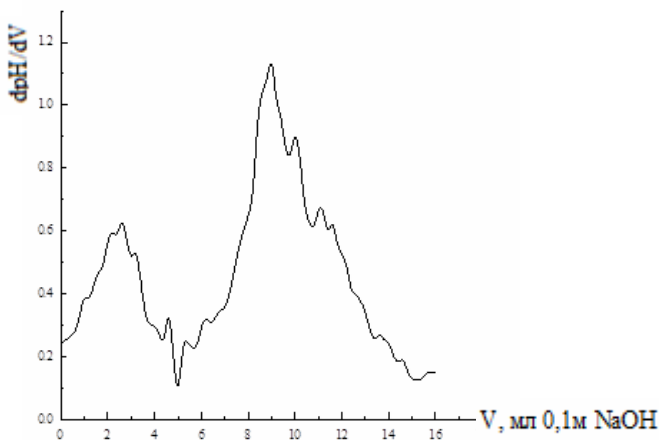


Рисунок 1 - Кривая потенциометрического титрования образца сыворотки в дифференциальной форме

Дифференциальный вариант кривой (рисунок 1) дает два четко выраженных пика, отвечающих экстремальным величинам первой производной pH по протолитической емкости. Точки максимумов отвечают, согласно [3], изоэлектрическому состоянию растворенных белков.

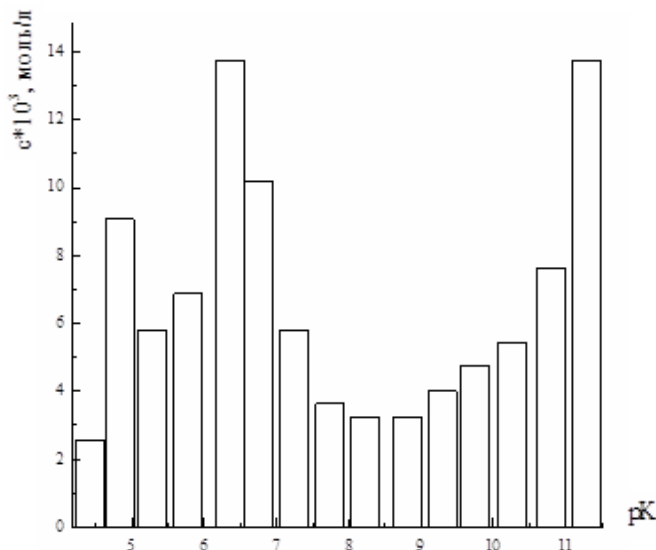


Рисунок 2 - Бренстедовский рК-спектр образца сыворотки

Метод бренстедовской рК-спектроскопии (рисунок 2) подтверждает данные, полученные при дифференциальной обработке кривой титрования. Области рН, которые соответствуют изоэлектрическому состоянию растворенных белков, отвечают на спектре областям с наименьшей протолитической емкостью. Найдены две изоэлектрические точки: рН = 5,5 и рН = 8,4.

Список использованных источников

1. Храпцов А.Г., Нестеренко П.Г. Технология продуктов из молочной сыворотки: Учебное пособие. – М.: ДеЛи принт, 2004. – 587с.
2. Зонтаг Т. и др. Коагуляция и устойчивость дисперсных систем. – Л.: Химия, 1973.
3. Leuenberger B., Schindler P.W. Application of integral pK-spectrometry to the titration curve of fulvic acid // Analit. chem. 1986. V. 58. № 7. P. 1471 – 1474.

Крутов А.В., к.т.н., доцент, Шутко П.В., студент
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь
К ВОПРОСУ ПЕРЕВОДА САМОХОДНОГО КОРМОРАЗДАТЧИКА
НА ЭЛЕКТРОПРИВОД ОТ ТЯГОВОГО АККУМУЛЯТОРА

В настоящее время, с целью снижения выбросов углекислого газа в окружающую среду, на автомобильном транспорте стали шире применять-

ся электромобили, электробусы и другой городской электротранспорт. Проблема снижения выбросов CO₂ актуальна и для сельскохозяйственного производства. Здесь ряд мобильных агрегатов, автотракторной техники можно перевести на электропривод.

В отличие от двигателя внутреннего сгорания (ДВС) электродвигатель имеет максимальный крутящий момент в более широком диапазоне частоты вращения вала. Коэффициент полезного действия (КПД) электродвигателя может достигать 90%, а ДВС (дизель) – 50%. Таким образом, примерно 90% энергии от аккумуляторной батареи преобразуется в механическую энергию (10 % - потери в двигателе, трансмиссии, цепях управления). Электродвигатель, в отличие от ДВС, не загрязняет окружающую атмосферу выхлопными газами, создает меньше шума, не вызывает стрессового состояния у животных от «перегазовки» ДВС в момент трогания агрегата или перегрузки. Замена ДВС на электропривод повышает культуру производства, снижает потребность в углеводородном топливе и смазочных материалах, устраняет загрязненность от их утечки из топливно-смазочных систем.

С учетом приведенных выше преимуществ, представляется возможным перейти на выпуск, например, вместо мобильных кормораздатчиков электрокаров-кормораздатчиков, заменить электрокарами тракторную и мобильную технику, агрегирующую различные прицепы, сельскохозяйственное оборудование на животноводческих фермах. В животноводстве ряд работ имеет периодический, непродолжительный по времени характер. В их числе кормление животных, навозоудаление и другие операции, где применяется в качестве тяговых машин трактор. Нельзя не отметить, что на фермах применяются стационарные кормораздатчики с электроприводом. Но питание его электродвигателя осуществляется через кабель, подключенный к распределительному шкафу, что ограничивает ход кормораздатчика помещением и лишает возможности доставки корма, хранящегося за пределами помещения фермы.

Известны самоходные кормораздатчики, например, типа ССР-12, разработанный РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». Но у него используется дизельный двигатель Д-260, мощностью 190 кВт. Зарубежные фирмы выпускают самоходные миксеры-кормораздатчики, смесители-кормораздатчики. Но они также с дизельными силовыми установками мощностью 190-285 л.с.

Конструкционные требования к электроприводу электрокара-кормораздатчика:

- узлы и агрегаты тягового электропривода должны выполняться в виде модулей, легко заменяющихся в процессе эксплуатации;
- защита по условиям среды (исключение попадания посторонних предметов, воды, наличие агрессивной среды):
- электробезопасность;

- работоспособность при температурах от -40°C до $+40^{\circ}\text{C}$.
- емкость батареи до 500 ампер-часов, время непрерывной работы – 2 часа, напряжение – 48 В (возможна установка литий-ионной батареи с емкостью накопителя 167 кВт•ч);
- наличие маховичного накопителя энергии;
- подзарядка батареи во время рекуперативного торможения электродвигателя.

Электрокары для сельскохозяйственного производства должны быть максимально приближены к устройству соответствующих автотракторных машин. Модернизации подлежат их силовые агрегаты с установкой на существующие шасси. На первом этапе это сократит сроки проектирования электрокаров сельскохозяйственного назначения. В дальнейшем их эксплуатация в реальных условиях подскажет направления совершенствования. На рис. представлена структурная схема электрокара-погрузчика с учетом новой концепции по электромобилям и электробусам [1].

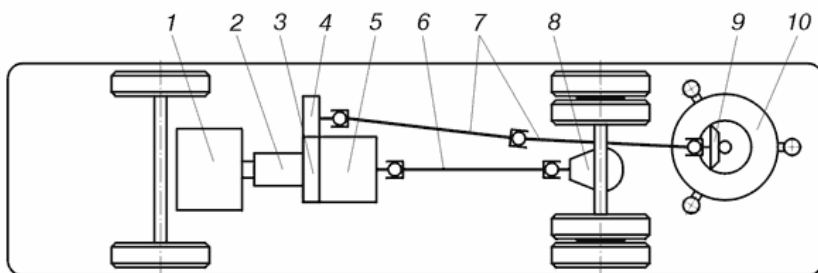


Рис. - Структурная электрокара-погрузчика:

- 1 – источник тока; 2 – электродвигатель; 3 – механизм реверса;
 4 – коробка с валом отбора мощности; 5 – планетарный дисковый вариатор;
 6, 7 – карданные передачи; 8 – главная передача; 9 – коническая зубчатая передача; 10 – маховичный накопитель.

Требования к выбору электродвигателя [1]:

- механическая характеристика электродвигателя должна максимально соответствовать механической характеристике рабочей машины. Электродвигатель должен сообщать приводу необходимые величины скорости и ускорения как при работе, так и при пуске в ход. При этом в процессе работы температура электродвигателя в наиболее тяжелых режимах работы не должна превосходить предельные значения, предусмотренные нормами по его нагреву.

Список использованных источников

1. Гулиа, Н.В., Юрков, С.А. Новая концепция автомобиля и электробуса//Автомобильная промышленность, № 2, 2000. С. 13-17.
2. Атаманов, Ю.Е. Теория подвижного состава городского электрического транспорта / Ю.Е.Атаманов, В.Н.Плищ. – Минск, БНТУ, 2012. – 236с.

Кулаковский Д.А., Сакович Е.А., Дышко М.С.
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь
ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕГРОЭФФЕКТИВНОСТИ АСИНХРОННОГО
ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ЗА СЧЕТ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ
СТАТОРНОЙ ОБМОТКИ

Ключевые слова: асинхронный электродвигатель, обмотка статора, энергоэффективность.

В работе приведен вариант статорной обмотки, при котором электродвигатель имеет наиболее энергоэффективные параметры.

По статистике на электродвигатели приходится 46% использования электричества в мире. В каждой квартире современного жилого дома асинхронных двигателей больше, чем жильцов. Поэтому даже незначительные усовершенствования могут привести к огромной экономии электроэнергии. А сэкономить единицу энергетических ресурсов, например, 1 т топлива в условном исчислении, сегодня вдвое дешевле, чем ее добыть.

Энергоэффективность асинхронных электродвигателей зависит от качества материала (чистота меди); качества выполнения самих обмоток; качества сборки магнитопровода; качества монтажа и подключения к рабочему механизму; а также от типа статорной обмотки, которая используется в том или ином двигателе. Экономии энергозатрат можно добиться производством энергоэффективных двигателей, удовлетворяющих стандарту IE-3 и оптимизацией основных размеров электрических машин.

На данный момент развитие асинхронных электродвигателей направлено на снижение расхода проводникового материала и уменьшение конструкции, при увеличении либо сохранении его энергетических характеристик, и уменьшении потерь в обмотках и потерь в стали.

С появлением новых двигателей с совмещенными обмотками имеется возможность существенно улучшить их параметры без увеличения цены.

Это происходит за счет совмещения двух схем (звезда и треугольник) в одной обмотке, что позволяет улучшить форму поля в воздушном зазоре двигателя и как следствие существенно улучшить основные характеристики двигателя.

На двигатель оказывают отрицательное воздействие возникающие гармоники, вибрации и тормозящие моменты, которые ухудшают его характеристики. Поэтому при нагрузке, отличной от номинальной, характеристики стандартного двигателя резко снижаются, снижается коэффициент мощности и КПД.

Совмещенные обмотки позволяют уменьшить уровень магнитной индукции полей от нечетных гармоник, что приводит к существенному снижению общих потерь в элементах магнитопровода двигателя и повышению его перегрузочной способности и удельной мощности. Это так же

позволяет выполнять двигатели для работы на более высокую частоту питающей сети при использовании сталей, рассчитанных для работы на частоте 50 Гц. Двигатели с совмещенными обмотками обладают меньшей кратностью пусковых токов при более высоких пусковых моментах.

Совмещённые обмотки выполняются по схемам укладки шестифазных электродвигателей, в которых первые три фазы соединяются в звезду, а четвёртая пятая и шестая фазы в треугольник. Результирующие вектора индукции полюсов одноименных фаз звезды и треугольника должны образовывать между собой угол в 30 электрических градусов. Суть заключается в том, чтобы сдвиг фаз был не 120, а 90 градусов. Начало совмещённой обмотки укладывается через Z_x пазов от начала основной обмотки.

Данная обмотка подключается к трёхфазной сети, поэтому требуется соответствующий пересчёт обмоточных данных (рисунок 1).

Для перемотки электродвигателя по схеме последовательного совмещения фаз, нужно сделать перерасчет по формуле:

$$Z_x = 30 \cdot Z_1 / 360 \cdot P, \quad (1)$$

где 30 – сдвиг между обмотками, выраженный в электрических градусах;
 P – количество исходных слоев;

Z_x – сдвиг в количестве пазов, от начала базовой обмотки.

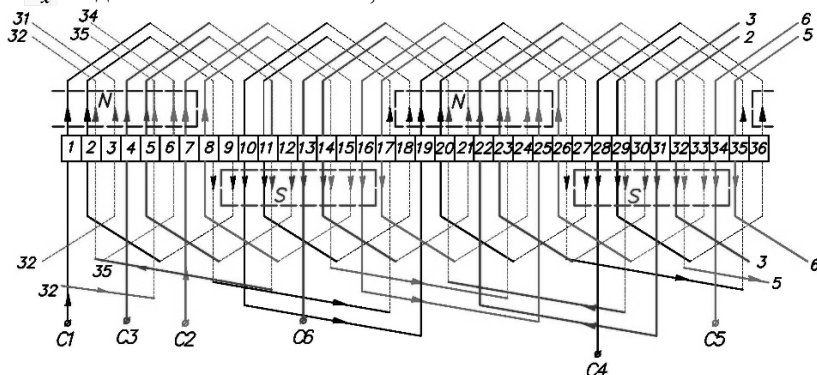


Рисунок 1. Совмещенная концентрическая обмотка.

Используя двигатели с совмещенными обмотками стало возможным не только экономить от 30 до 50% потребления энергии при той же полезной работе, но и создавать регулируемый энергосберегающий привод с уникальными характеристиками, не имеющий аналогов в мире за счет улучшенной механической характеристики и более высоких энергетических показателей. Наибольший эффект достигается в установках с переменным характером нагрузки. Исходя из того, что в настоящее время мировой объем производства асинхронных двигателей различной мощности достиг семи миллиардов штук в год, эффект от внедрения новых двигателей трудно переоценить.

Список использованных источников

1. ГОСТ ИЕС 60034-30-1-2016. Машины электрические вращающиеся. Классы КПД двигателей переменного тока, работающих от сети (код IE) : межгосударственный стандарт. – Введ. 27.09.16. – Москва : Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации , 2016. – 18 с.
2. Кулаковский, Д.А. Влияние конструкции статорной обмотки на параметры асинхронного электродвигателя / Д.А. Кулаковский, А.Д. Сыч, Е.А. Жигера // Энергосбережение – важнейшее условие инновационного развития АПК: материалы науч.-техн. конференции. Минск: БГАТУ, 2017.
3. Сердешнов А.П. Ремонт электрооборудования. Часть 1. Ремонт электрических машин: уч. пособие для студентов энергетических специальностей учреждений, обеспечивающих получение высшего образования / А.П. Сердешнов. – Минск: ИВЦ Минфина, 2008. – 293 с.:111 ил.

Нитиевский С.А.

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь

ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ТЯГОВЫМИ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ

В настоящее время качество процессов управления тяговыми агрегатами промышленных и транспортных машин во много определяет производительность труда в АПК. В этой связи ставится задача как модернизации существующих машин с электрическим тяговым приводом, так и организация перехода от двигателей внутреннего сгорания к электроприводу с питанием от электрической сети либо автономных источников энергии. При этом в настоящее время осуществляется переход от тяговых электрических машин постоянного тока, имевших популярность в прошлом столетии в связи с низким уровнем развития полупроводниковой техники [1] к машинам переменного тока, в частности асинхронным и синхронным.

Применение синхронных машин с электромагнитным возбуждением в тяговом приводе, несмотря на известные преимущества [2], не находит широкого распространения по причине сложности организации пусковых режимов. Что касается синхронного двигателя с возбуждением от постоянных магнитов (СДПМ), то его характеристики и свойства наиболее полно удовлетворяют требованиям, предъявляемым к тяговым электроприводам, однако в связи с сравнительно высокой стоимостью данные двигатели пока не получили широкого распространения.

Наиболее перспективным на данный момент является применение асинхронных машин в составе частотно-управляемых электроприводов в качестве основных тяговых агрегатов. Это связано с тем, что такие электроприводы способны обеспечить требуемые показатели динамики при срав-

нительно низкой стоимости и более высоком уровне энергетической эффективности по сравнению с приводами постоянного тока [3].

Среди всех существующих на сегодняшний день законов управления частотно-регулируемыми асинхронными электроприводами наиболее полно отвечают требованиям к тяговым электроприводам системы с векторным управлением [4]. Это обусловлено тем, что векторное управление позволяет обеспечить двухзонное регулирование скорости, приближая форму тяговых характеристик к постоянству мощности.

В тяговом электроприводе определяющую роль играют требования к безопасности и динамические показатели. Однако при формировании динамических характеристик необходимо учитывать влияние явлений изменения сцепления колес с дорожным покрытием или рельсами, возникающих из-за неоднородности покрытия или дефектов самого колеса. Наиболее ярким примером влияния этих эффектов на качество движения является рельсовый транспорт, поскольку коэффициент сцепления при контакте «металл-металл» (колесо и рельс) весьма невелик, а также изменяется в широких пределах.

Условия пуска и торможения мобильной машины значительно зависят от уклона пути, ветровой нагрузки, температуры, а для сельскохозяйственных машин еще и твердости грунта, что влияет на силы сопротивления перекатыванию.

Одним из направлений совершенствования автоматизации является установка датчиков механических величин в механической части, что повышает качество управления, но заметно снижает надежность всей системы.

С другой стороны, система векторного управления реализуется программным способом на основе микроконтроллера. Это позволяет реализовать сложные алгоритмы управления и идентификации. Исходя из этого, весьма перспективным является использование информационных технологий для повышения динамических свойств системы, что позволит не применять некоторые из датчиков, используя расчетные значения измеряемых параметров на основе математических моделей.

Следовательно, актуальной проблемой управления тяговым приводом является разработка алгоритмических и программных средств для повышения динамических показателей тягового электропривода. Алгоритмические и программные средства можно условно разделить на три группы: система верхнего уровня (логическое управление и формирование задающих воздействий), система, непосредственно управляющая тяговым электроприводом, и средства имитационного моделирования. Средства имитационного моделирования необходимы для анализа синтезированных законов управления и исследования реакции системы на возмущающие воздействия.

Таким образом, разработка программного обеспечения для управления тяговым электроприводом должна включать в себя программные средства

формирования задающих воздействий, программные средства регуляторов, программные средства идентификации, а также ПО для имитационного моделирования системы.

Список использованных источников

1. Стрекопытов В.В., Грищенко А.В., Кручек В.А. Электрические передачи локомотивов. Учеб. для вузов ж.-д. тр-та. – М.: Маршрут, 2003. – 310 с.
2. Фираго Б.И., Павлячик Л.Б. Теория электропривода: Учебное пособие. 2-е изд. - Мн.: Техноперспектива, 2007. 585 с.
3. Фираго, Б.И. Регулируемые электроприводы переменного тока./ Б.И. Фираго, Л.Б. Павлячик — Минск: Техноперспектива, 2006. – 363 с.
4. Blaschke F. DasPrinzip der Feldorientierung die Grundlage fur die TRANSVEKTOR-Regelung von Drehfeldmaschinen // Siemens-Z. – 1971. Vol. 45, no. 10. - Pp. 757-760.

**Павлович И.А., ассистент, Нефедов С.С., ассистент,
Богданович В.В., ассистент, Винцовский Д.Ю., студент
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь**
**ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ КОНТАКТНЫХ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ**

Контактные электрические соединения являются важной составляющей любого электрооборудования. При этом неисправности контактных соединений часто являются причиной возникновения аварийных режимов работы электрической цепи и выхода из строя электрооборудования.

Из-за малой площади соприкосновения контактируемых поверхностей, в месте контакта возникает значительное электрическое сопротивление. Полное сопротивление контактного соединения включает в себя сопротивления собственно материала контактных элементов и сопротивления в месте их соприкосновения, называемого переходным контактным сопротивлением. Очевидно, что сопротивление контакта всегда больше, чем сплошного проводника таких же размеров и формы. Переходное сопротивление существенно зависит от вида контактного электрического соединения [1].

В настоящее время белорусские производители предлагают широкий ассортимент электротехнической продукции для изготовления различных видов контактных электрических соединений. На кафедре практической подготовки студентов на основе анализа нормативно-технических документов [2-3] была разработана и внедрена методика изучения контактных электрических соединений [4]. Данная методика позволяет осуществить сравнительный анализ различных контактных соединений по значению их переходного сопротивления.

Нами были изготовлены образцы контактных соединений с использованием различных способов соединения медных и алюминиевых жил проводников: скрутка, сварка, пайка, различные виды клеммных зажимов (рисунок 1).

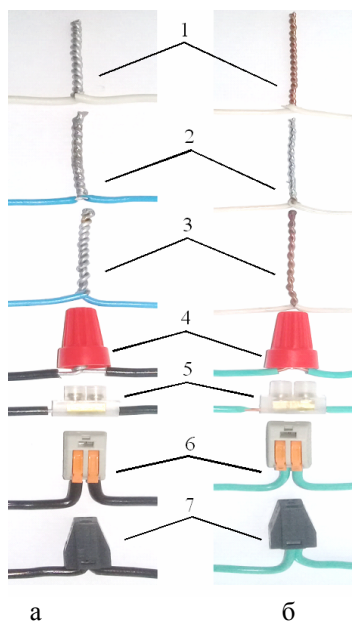


Рисунок 1 – Контактные соединения проводников с алюминиевой (а) и медной (б) жилами: 1 – скрутка; 2 – пайка; 3 – сварка; 4 – зажим СИЗ – 5; 5 – зажим ЗВИ-15; 6 – клемма соединительная СК-412; 7 – строительно-монтажная клемма СМК 773-302.

Для определения переходного сопротивления контактных электрических соединений был использован цифровой измеритель (микроомметр) MMR-620. Результаты измерений приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты измерений переходного сопротивления контактных электрических соединений

Вид контактного соединения	Переходное сопротивление, мОм	
	Медная жила	Алюминиевая жила
Скрутка	11,43	25,7
Пайка	9,70	1,909
Сварка	2,02	3,35
Винтовой зажим ЗВИ-15	4,40	3,86
Зажим СИЗ-5	11,64	4,15
Клемма соединительная СК-412	6,58	2,75
Клемма СМК 773-302	6,65	8,77

Из полученных данных можно сделать вывод, что применение сварки скруток при выполнении контактных соединений в процессе монтажа электропроводок, обеспечивает минимальное переходное сопротивление контактов, однако необходимость использования дополнительного оборудования и материалов (сварочный аппарат, флюс, графитный электрод), увеличивает трудоемкость монтажа.

Список использованных источников

1. Мышкин, Н.К. Электрические контакты / Н.К. Мышкин, В.В. Кончиц, М. Браунович. – Долгопродный: Издательский Дом «Интеллект», 2008. – 560с.

2. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей = Правілы технічної експлуатації електроустановок споживачів: ТКП 181-2009 (02230). – Введ. 01.09.09. – Минск: Минэнерго, 2009. – 325 с.

3. Соединения контактные электрические. Приемка и методы испытаний: ГОСТ 17441-84. – Взамен ГОСТ 17441-78; введ. РБ 17.12.92. – Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1992. – 20 с.

4. Нефедов, С.С. Методика изучения контактных соединений для подключения возобновляемых источников энергии при подготовке инженеров-электриков / С.С. Нефедов, Т.М. Ткаченко, В.В. Богданович, С.М. Барайшук // Весці БДПУ. Серыя 3. Фізіка. Матэматыка. Інфарматыка. Біялогія. Геаграфія. – 2018. – № 2 (96). – С.43-49.

Попова И.А., к.т.н., доцент, Курашкин С.Ф., к.т.н., доцент,

Попрадухин В.С., к.т.н., доцент

***Таврический государственный агротехнологический университет
имени Дмитрия Моторного, г. Мелитополь, Украина***

УСТРОЙСТВО ЗАЩИТЫ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Асинхронный двигатель (АД) с короткозамкнутым ротором рассчитан на срок службы 15-20 лет без капитального ремонта при условии его правильной эксплуатации в соответствии с номинальными параметрами, указанными в паспорте АД. В реальной жизни существуют значительные отклонения от номинального режима эксплуатации: низкое качество напряжения в сети, технологические перегрузки, условия окружающей среды, снижение сопротивления изоляции, нарушение охлаждения. Следствием таких отклонений являются аварийные режимы работы АД, в результате аварий ежегодно выходят из строя до 15-20 % АД, работающих в АПК [1]. При использовании эффективных устройств защиты можно продолжить срок эксплуатации АД [2].

Аварии АД можно подразделить на два основных типа: механические и электрические. Электрические аварии, в свою очередь, делятся на такие, которые связаны: с несимметрией или отклонением напряжения, неполнофазным режимом, с обрывом проводов обмотки статора АД; межвитковыми и междуфазными замыканиями обмоток, токовыми перегрузками из-за технологических перегрузок и разными короткими замыканиями; со снижением сопротивления изоляции из-за старения, увлажнения или её разрушения.

В устройстве использован программируемый микроконтроллер, особенностью которого есть то, что он работает по определенной программе, составленной на основе математической модели, которая анализирует влияние разных факторов.

Устройство защиты АД будет отключать двигатель от сети при обрыве фазы, отклонение фазного напряжения (перекосе фаз) больше чем на ± 30 В и нагреве обмотки статора больше 155°C (класс изоляции F).

Устройство построено на микроконтроллере (МК) и микроконтроллерном датчике температуры (DS). Если возникает аварийный режим с напряжением в каждой фазе и превышение температуры обмотки двигателя, то это сопровождается включением соответствующих сигнальных светодиодов.

Для измерения и сравнения используется выпрямленное напряжение относительно нулевого провода. Для питания МК и других микросхем использовано бестрансформаторный источник питания. Для отключения АД от сети в случае аварийного режима предусмотрено промежуточное реле, которое отделено от цепей микроконтроллера гальванической развязкой.

Во время пуска АД, возможны провалы или прыжки напряжения в фазах, поэтому устройство защиты по напряжению начинает работать через 30 секунд после включения двигателя. Задержка реализована путем последовательного включения таймера МК и двух делителей, каждый из которых имеет коэффициент деления.

Затем последовательно выполняются замеры напряжения фаз А, В, С. После каждого замера фаза проверяется на обрыв. Если измеренное напряжение равно нулю, тогда выход сразу отключается. Затем следует проверка величины фазного напряжения пределы диапазона 190-250 В. Если величина измеренного напряжения вышла за эти пределы, то включается счетчик ошибок, который необходим для повышения помехоустойчивости устройства, час задержки выключения двигателя приблизительно 1,8 с. Если при следующем измерении напряжение придет в норму, то данный счетчик обнуляется.

При замере линейного напряжения их значения сравниваются с заданным предельным отклонением от нормы ± 30 В. Если несимметрия линейных напряжений превышает заданное предельное значение в ± 30 В, то включается счетчик ошибок. Выключение выхода происходит аналогично описанному выше через 1,8 с. Измерение температуры начинается с инициализации термодатчика и выдачи команды разрешения преобразования.

После приема данных от датчика температуры для их стабилизации введена задержка времени начала сравнения.

Структурная схема устройства (рисунок 1) состоит из следующих блоков: 1.1, 1.2, 1.3 – измерения напряжений фаз А, В, С; 2.1, 2.2, 2.3 – делители напряжений фаз А, В, С; 3.1, 3.2, 3.3 – сглаживающие фильтры; 4 – первичный преобразователь температуры фаз; 5 – датчик температуры; 6 – блок подстройки; 7 – микроконтроллер; 8 – блок световой сигнализации; 9 – гальваническая развязка; 10 – исполнительный орган; 11 – блок питания.

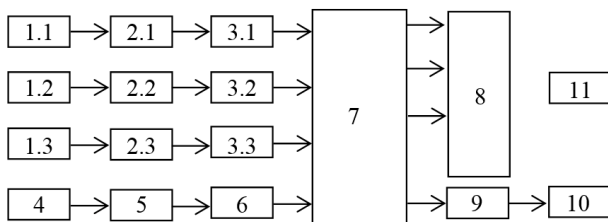


Рисунок 2 – Структурная схема устройства

Разработанное устройство позволяет сократить расход ресурса и и повысить срок службы АД.

Список использованных источников

1. Popova I.O., Gryshenko O.K. (1998). Analiz vplyvu asymetrii naprugi na protses teplovogo iznosu izolyatsii asynkhronnykh elektrodvyguniv [The influence of voltage asymmetry on the process of heat dissipation in asynchronous electric motors isolation]. Melitopol, Ukraine: Scientific announcer of Tavria state agrotechnical academy, 1/8, 14–18.
2. Попова І.О. Захист асинхронного двигуна від несиметричних режимів. /І.О. Попова, С.Ф. Курашкін, Д.М. Нестерчук. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. //Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. – Вип. 195. –Харків: ХНТУСГ, 2018. – С. 114-115.

**Попова И.А., к.т.н., доцент, Курашкин С.Ф, к.т.н., доцент,
Квитка С.О., к.т.н., доцент
Таврический государственный агротехнологический университет
имени Дмитрия Моторного, г. Мелитополь, Украина**
**АНАЛІЗ ПРИЧИННО-СЛЕДСТВЕННИХ СВ'ЯЗЕЙ АВАРИЙНИХ
РЕЖИМОВ АСИНХРОННИХ ДВИГАТЕЛЕЙ ДЛЯ ВЫБОРА
ЭФФЕКТИВНОЙ ЗАЩИТЫ**

В электроприводе промышленных установок и АПК наибольшее распространение получили асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором

(АД). Причина в простоте конструкции, небольшой себестоимости производства, большом диапазоне выпускаемых промышленностью мощностей.

Срок службы АД составляет практически 20 лет без капитального ремонта при условии их правильной эксплуатации, под которой понимают работу в соответствии с номинальными параметрами, которые указаны в паспортных данных АД. Однако довольно часто условия эксплуатации бывают далеки от номинальных. Существует ряд причин, которые имеют наиболее пагубное влияние на АД. Это, в первую очередь, плохое качество напряжения питания сети: отклонения напряжения от нормы вверх и вниз от номинального значения, несимметрия напряжений сети (обрыв линейного или фазных проводов), наличие высших гармоник напряжения и прочее. Значительное влияние оказывают технологические перегрузки АД со стороны рабочих машин, условия окружающей среды (повышенная влажность, агрессивность, температура), снижение сопротивления изоляции, нарушение охлаждения. Работа в аварийных режимах АД вызывает увеличение электропотребления из сети, рост реактивной мощности и тепловых потерь в обмотках статора и тепловому износу их изоляции. Вследствие этого главной задачей является предотвращение аварийных режимов работы, и создание комплекса мер, а в частности, устройств защиты, с целью предотвращения аварийных ситуаций, для повышения сроков службы АД, экономного потребления электроэнергии, сокращения расходов на капитальный ремонт АД. Такие меры следует выбирать с учетом специфики процессов, которые происходят в АД и являются катализаторами перехода в аварийные режимы работы. К ним предъявляются следующие основные требования: относительная дешевизна, простота, надежность.

Все аварийные режимы работы АД обычно сопровождаются превышением температуры в обмотке статора, необратимым физико-химическим процессам в изоляции, ее старению, постепенной потере механической прочности и изолирующих свойств. Температура нагрева обмоток зависит от теплотехнических характеристик АД и температуры окружающей среды. Перегрев сверх нормы на каждые 8°C уменьшает срок службы изоляции обмоток статора в два раза [1].

Анализ аварийных ситуаций указывает, что наиболее частыми причинами поломки АД являются: короткие замыкания обмотки статора, обрывы ее, заклинивание подшипниковых узлов или технологического оборудования, технологические перегрузки, ухудшение охлаждения, снижение сопротивления изоляции обмоток, несимметрия напряжения сети. Аварии бывают механические и электрические. Причиной механических аварий могут быть радиальные вибрации, вызванные несимметрией напряжения. До 10 % всех аварий АД являются механическими, 8 % из них вызваны вибрациями от несимметрии напряжений и только 2 % связаны с механическими перегрузками [2].

Несимметричные и неполнофазные режимы работы АД наиболее распространены и возникают в следующих случаях: при искажении симметрии напряжений сети; при несимметрии сопротивлений в цепях статора и ротора; при неравномерном распределении потребителей по фазам сети за счет однофазных потребителей; обрыв фазного провода питания [2].

Для повышения эксплуатационной надежности асинхронных двигателей в АПК при несимметрии напряжений сети, необходимо совершенствовать способы диагностики и защиты. В устройствах диагностирования и защиты чувствительным органом, которым осуществляется контроль одного или нескольких параметров, есть датчик. Существующие устройства защиты можно подразделить на группы по параметрам контроля силы тока, напряжения и температуры (рис.1) [3].



Рисунок 1– Классификация параметров контроля аварийных режимов АД

Эффективность защиты зависит от комбинации контролируемых параметров. Для большинства АД в АПК лучше использовать комбинированные защиты по причине разнообразия специфических условий, при которых они работают.

Список использованных источников

1. Popova, I.O., Gryshenko O.K. (1998). Analiz vplyvu asymetrii naprugi na protses teplovogo iznosu izolyatsii asynkhronnykh elektrodvyguniv [The influence of voltage asymmetry on the process of heat dissipation in asynchronous electric motors isolation]. Melitopol, Ukraine: Scientific announcer of Tavria state agrotechnical academy, 1/8, 14–18.
2. Попова І.О. Пристрій захисту групи асинхронних двигунів. /І.О. Попова, С.Ф. Курашкін // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. Технічні науки.

//Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. – Вип. 203. –Харків: ХНТУСГ, 2019. – С. 104-106.

3. Попова І.О. Контроль режимів роботи асинхронних двигунів при несиметрії напруг мережі. /І.О. Попова. Автореф. дис. кандидата техн. наук. – Мелітополь: 2003. – 20 с.

Прищепов М.А., д.т.н., доцент; Рутковский И.Г.
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь
МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ПРОТОЧНОГО ЭЛЕКТРОДНОГО
НАГРЕВАТЕЛЯ

При прямом электронагреве сопротивлением тепловая энергия выделяется непосредственно в нагреваемой среде. Из за влияния температурного коэффициента сопротивления на входе в проточный электродный нагреватель (ЭН) термообработка будет протекать менее интенсивно чем на выходе. Для повышения равномерности термообработки можно использовать многозонный электродный нагрев [1-2].

Для многозонного электродного нагревателя в статике все электротепловые процессы происходящие в межэлектродном пространстве описываются системой уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} C_p \cdot G \cdot \frac{\partial \theta}{\partial x} = \frac{U_k^2 \cdot \Pi \cdot \eta}{\rho t(\theta) \cdot H} \\ U = \sum_{k=1}^N U_k = \sum_{k=1}^N I \cdot R_k \\ I = C_p \cdot G \cdot (\theta_{вых} - \theta_{вх}) / (\eta \cdot U) \\ R_k = \int_0^{L_k} \rho_t(\theta) dx \cdot \int_0^{L_k} H dx / \left(\int_0^{L_k} \Pi dx \cdot L_k^2 \right) \end{array} \right. \quad (1)$$

где G – массовый расход обрабатываемой среды, кг/сек; C_p – удельная теплоемкость обрабатываемой среды, Дж/(кг·°C); Π – ширина электродов электронагревателя, м; H – межэлектродное расстояние, м; $\rho t(\theta)$ – удельное сопротивление обрабатываемой среды, Ом·м; U_k – напряжение на k -ой последовательно соединенной зоне, В; U – напряжение питания, В; η – коэффициент полезного действия, о.е.; I – мгновенное значение полного тока электронагревателя, А; R_k – мгновенное значение сопротивления k -ой зоны, Ом; R – мгновенное значение полного сопротивления электронагревателя, Ом; L_k – длина k -ой зоны электронагревателя.

ля, м; N – количество последовательно соединенных зон электронагревателя; $\theta_{\text{вх}}$ – температура на входе в ЭН, °C; $\theta_{\text{вых}}$ – температура на выходе из ЭН, °C.

Значение температуры на i -й секции нагрева k -й зоны рассчитываем по формуле:

$$\theta_i = \theta_{i-1} + \Delta x_k \frac{U_k^2 \cdot \Pi \cdot \eta}{\rho t(\theta) \cdot H \cdot C_p \cdot G}, \quad (2)$$

где Δx_k – длина i -й секции нагрева k -й зоны, м.

При решении этого уравнения возникает вопрос нахождения напряжения на k -ой последовательно соединенной зоне нагрева. Для расчета напряжений на зонах нагрева необходимо найти сопротивление этих зон нагрева и общий ток нагревателя. Расчет начинаем с нахождения значения удельного сопротивления расчетной секции нагревателя:

$$\rho t(\theta) = 1 / (\gamma_{20} \cdot (1 + \alpha_n \cdot (\theta_i - 20))) , \quad (3)$$

где γ_{20} – проводимость токопроводящей среды; α_n – температурный коэффициент проводимости.

Затем рассчитываем значение сопротивления i -й расчетной секции нагревателя:

$$R_{s_i} = \frac{\rho t(\theta) \cdot H}{\Pi \cdot \Delta x_k} . \quad (4)$$

Одновременно с расчётом сопротивления секции определяем значение плотности тока i -й секции нагрева:

$$J_i = \frac{k_3 \cdot U_k}{R_{s_i} \cdot \Delta x_k \cdot \Pi} , \quad (5)$$

где k_3 – коэффициент запаса по плотности тока.

После определения сопротивления секции нагревателя рассчитываем значение сопротивления k -й зоны нагрева электродного нагревателя. Расчет проводим с учетом параллельного соединения секций нагрева:

$$R_k = \frac{R_{s_{i+1}} \cdot R_{s_i}}{R_{s_{i+1}} + R_{s_i}} . \quad (6)$$

Значение тока электродного нагревателя определяем по формуле:

$$I = \frac{U}{\sum_{k=1}^N R_k} . \quad (7)$$

При моделировании работы многозонного проточного электродного нагревателя в Excel записываются формулы математической модели ЭН в ячейки электронных таблиц адресным способом. Уточнения значений напряжений на зонах электродного нагревателя проводим при помощи надстройки “Поиск решения”. При моделировании работы проточного ЭН рассчитываются распределение температуры, удельного сопротивления и плотности тока по длине нагревателя. Моделирование ЭН позволяет оценить особенности режимов работы различных конструкций нагревателя и формировать рекомендации по их практическому использованию.

Список использованных источников

1. Прищепов, М.А. Некоторые особенности электротепловой обработки в сельскохозяйственном производстве / М.А. Прищепов, И.Г. Рутковский, А. Бжостович // Материалы XV International Scientific Conference “Problems of agricultural engineering”./ Miedzydroje – Poland, 2012. – С. 121–122.
2. Рутковский, И.Г. Расчет конструкции многозонного проточного электродного нагревателя / И.Г. Рутковский, Н.В. Рутковская // Материалы Международной научно-технической конференции “Энергосбережение – важнейшее условие инновационного развития АПК”./ БГАТУ – Мн., 2017. – С. 277–280.

Прищепова Е.М.

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ВЕКТОРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Современные системы управления частотно-регулируемых асинхронных ЭП базируются на представлении трехфазной (многофазной) электрической машины эквивалентной двухфазной электрической машиной, которая получила название обобщенной электрической машины (ОЭМ) [1...4]. Это упрощает математическое описание электрической машины и практическую реализацию систем управления частотно-регулируемых асинхронных ЭП.

На практике при исследовании процессов в асинхронных машинах наиболее часто используется математическое описание и структурные схемы АД в следующих системах координат [3]:

– неподвижной системе координат α, β жестко связанной со статором (угловая скорость координатной системы $\omega_{\text{кв}}=0$);

– вращающейся синхронно с магнитным полем статора система координат d, g и осью d , ориентированной по вектору потокоцепления ротора Ψ_2 .

При реализации систем управления частотно-регулируемых асинхронных ЭП практически доступным оказывается только измерение напряжений и токов обмоток фаз статора, магнитного потока в воздушном зазоре машины и угловой скорости ротора АД. Остальные переменные рассчитываются по эталонным моделям двигателя.

Для математического описания происходящих в АД электромагнитных процессов обычно используются дифференциальные уравнения обобщенной двухфазной электрической машины переменного тока [3], полученные без учета потерь в стали и насыщения магнитной цепи, при равномерном воздушном зазоре и питании двигателя от источника с симметричным синусоидальным напряжением.

Полученное в операторной форме записи уравнение АД во вращающейся системе координат d, g осью d ориентированной по вектору потокоцепления ротора имеет следующий вид

$$\left. \begin{aligned} U_{1d} &= r_s(T_s p + 1)I_{1d} - \frac{k_2}{T_2}\Psi_{2d} - \sigma L_1 \omega_{\kappa} I_{1g}; \\ U_{1g} &= r_s(T_s p + 1)I_{1g} + \sigma L_1 \omega_{\kappa} I_{1d} + k_2 \omega p \Psi_{2d}; \\ 0 &= (T_2 p + 1)\Psi_{2d} - L_m I_{1d}; \\ \omega_{\kappa} &= \omega p + \frac{L_m}{T_2} \frac{I_{1g}}{\Psi_{2d}}; \\ M &= \frac{3}{2} k_2 p \Psi_{2d} I_{1g}; \\ \omega &= \frac{1}{J_s p} (M - M_c). \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где p – количество пар полюсов обмотки статора, шт, $p \equiv \frac{d}{dt}$ – оператор дифференцирования; I_{1d}, I_{1g} – составляющие тока статора в системе координат d, g , А; Ψ_{2d}, Ψ_{2g} – составляющие потокоцепления ротора в системе координат d, g , Вб; $r_s = r_1 + r_2' \frac{L_m^2}{L_2^2}$ – эквивалентное сопротивление

ние, Ом; $T_2 = \frac{\sigma L_1}{r_2}$ - эквивалентная электромагнитная постоянная времени, с; $T_2 = \frac{L_2}{r_2'}$ - электромагнитная постоянная времени цепи ротора, с;

$k_2 = \frac{L_m}{L_2}$ - коэффициент электромагнитной связи ротора; J_2 - эквивалентный момент инерции электропривода, кг·м².

Системе уравнений (1) соответствует приведенная на рисунке 1 структурная схема АД с короткозамкнутым ротором во вращающейся системе координат d, g и осью d ориентированной по результирующему вектору потокоцепления ротора.

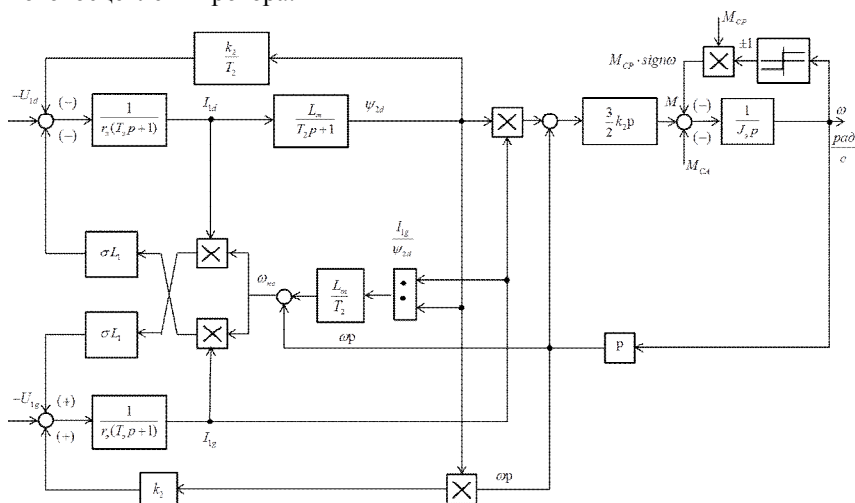


Рисунок 1 - Структурная схема асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором во вращающейся системе координат статора d и g , ориентированной по результирующему вектору потокоцепления ротора:
 M_{cp} , M_{ca} – моменты статического сопротивления на валу АД, соответственно, реактивный и активный.

При реализации систем частотно-регулируемых асинхронных приводов с векторным управлением для анализа их функционирования используются структурные схемы двухфазных ОЭМ переменного тока во вращающейся синхронно с магнитным полем статора система координат d, g и осью d , ориентированной по вектору потокоцепления ротора ψ_2 , в кото-

рой векторы напряжений, токов и потокосцеплений в установившемся режиме будут неподвижными и неизменными по амплитуде, их проекции по осям координат d , g будут постоянными по величине, а производные потокосцеплений и токов равны нулю, что упрощает их решение (рисунок 1).

Список использованных источников

1. Виноградов, А.Б. Векторное управление электроприводами переменного тока/ А.Б. Виноградов. – Иваново: ГОУ ВПО Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина, 2008. – 98 с.
2. Фираго, Б.И. Теория электропривода: учебное пособие/ Б.И. Фираго, Л.Б. Павлячик. – Мн.: Техноперспектива, 2004. – 527 с.
3. Мальцева, О.П. Системы управления электроприводов: учебное пособие/ О.П. Мальцева, Л.С. Удуг, Н.В. Кояин. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2007. – 82 с.
4. Фираго, Б.И. Регулируемые электроприводы переменного тока / Б.И. Фираго, Л.Б. Павлячик. – Мн.: Техноперспектива, 2006. – 363 с.

**Синица С.И., ст. преподаватель, Андрейчик А.Е., ст. преподаватель
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь
АНАЭРОБНАЯ ОБРАБОТКА ОТХОДОВ АПК**

Методом, наиболее отвечающим экологическим, техническим и экономическим требованиям, является анаэробное сбраживание. При этом получают жидкие биоудобрения и биогаз, из которого генерируется электрическая и тепловая энергия.

В основе этой технологии лежит микробиологическая деструкция органической части навоза/помета в анаэробных условиях с последующим биосинтезом метана.

Анаэробной обработке подвергаются бесподстильный навоз и помет, смесь осадков отстойников и других продуктов переработки и очистки навозных стоков. Анаэробную обработку массы осуществляют путем сбраживания в биоэнергетических установках сельскохозяйственного назначения.

При анаэробной обработке подстильного помета в метантенках его предварительно подвергают измельчению и доводят влажность массы до 88-92 %.

К технологическому процессу подготовки бесподстильного помета, навоза и продуктов переработки и очистки навозных стоков к анаэробному сбраживанию предъявляются следующие требования: подготовленная масса должна быть свежей с максимальным содержанием органического вещества, иметь максимально возможную температуру; масса должна быть

гидравлически транспортабельной, гомогенной по составу, однородной по концентрации твердых и взвешенных веществ и равномерно поступать на сбраживание. Она не должна содержать включения размером более 30 мм и твердые частицы, плотность которых существенно превышает плотность жидкости (бетон, глина, песок и др. посторонние включения); оптимальные параметры массы для анаэробного сбраживания: влажность— 90-92 %; зольность – 15-16 %; pH – 6,9-8,0; содержание жирных кислот – 600-1500 мг/л; щелочность – 1500-3000 мг CaCO₃/л; C:N – (10-16):1.

Основными параметрами технологического процесса анаэробного сбраживания жидкого навоза и помета принимаются температура и продолжительность сбраживания.

Режим сбраживания производится на основании ветеринарного состояния животноводческого предприятия, с учетом природно-климатических условий технико-экономических расчетов, количественно-качественных параметров навоза или помета, требований к использованию сброженного навоза или помета и санитарно-гигиенических требований, состояния и вида почв, наличия площадей и состояния сельскохозяйственных угодий, вида культур. Принимаются два режима для анаэробного сбраживания навоза и помета: мезофильный с диапазоном температур - 33-38 °С; термофильный с диапазоном температур - 53-55 °С.

Несмотря на то, что термофильный процесс является наиболее эффективным, а объем метантенка для него будет минимальным, он не пользуется спросом из-за необходимости поддерживать очень высокую температуру. Из-за этого сильно возрастают расходы газа на поддержку температуры и снижается общий объем готового продукта. Тем не менее, при больших ежедневных объемах экскрементов и ограниченности пространства для установки метантенка термофильный режим будет наиболее предпочтительным.

Для наиболее популярного (мезофильного) режима полный объем метантенка должен превосходить ежедневный объем разведенного водой субстрата в 15-25 раз или превосходить объем суточного сбора навоза/помета в 20-35 раз.

Продолжительность анаэробного сбраживания навоза и помета в метантенках назначают в пределах 5-20 суток с учетом факторов: принятой температуры сбраживаемой массы; величины дозы загрузки сбраживаемой массы; скорости реакции, зависящей от вида сбраживаемой массы; степени разложения органического вещества; требований к качеству сброженного навоза и помета.

В процессе анаэробной обработки происходит разложение органического вещества навоза и помета с выделением биогаза с теплотворной способностью не менее 23 МДж/м³.

Количество образуемого биогаза зависит от вида и состава навоза и помета, продолжительности сбраживания, степени распада органического вещества и других факторов. При дозе загрузки метантенков 10 % и сте-

пени разложения органического вещества до 40 % ориентировочное количество выделяемого биогаза с 1 кг органического вещества бесподстилочного навоза и помета составляет: навоза КРС – 300 л, свиного навоза – 400 л и помета птиц – 500 л.

В составе сооружений анаэробной обработки навоза и помета в зависимости от их назначения и мощности проектируют: блок приема и усреднения навоза по количественно-качественным параметрам с оборудованием для отделения посторонних включений, гомогенизации, измельчения и подачи навоза на дальнейшую обработку; блок подготовки навозной массы к анаэробному сбраживанию с оборудованием для нагрева, подогрева, выдерживания и др.; блок анаэробного сбраживания навоза в составе метантенков, анаэробных фильтров с мостиками, площадками, трубопроводами, арматурой, предохранительным и другим оборудованием; блок обработки сброженной навозной массы с оборудованием для ее разделения и обезвоживания; блок сбора и хранения сброженной навозной массы и ее твердой и жидкой фракции; промежуточные емкости и насосные установки для перекачки навозной массы по сооружениям; блоки сбора, хранения, использования и переработки биогаза; блоки очистки и доочистки сброженной жидкой фракции.

Биоудобрения, получаемые при анаэробном сбраживании, отличаются от минеральных и органических удобрений механизмом действия на растения и почву. Биоудобрения безопасны и безвредны для животных и людей (4 класс опасности). Особенностью биоудобрений, получаемых анаэробным сбраживанием, в силу их высокой активности, является относительно невысокая норма их внесения (до 1 т/га).

Список использованных источников

1. Б. Эдер, Х. Шульц Биогазовые установки, Практическое пособие / Под научной редакцией И.А. Реддих. – М: Zorg Biogas, 2011 – 268 с.
2. И.А. Степанова, А.С. Степанов. Утилизация отходов агропромышленного комплекса. – Оренбург, 2009. – 172 с.

**Сычик В.А. д.т.н., профессор, Русан В.И. д.т.н., профессор
Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь
РЕГУЛЯТОР НАГРУЗКИ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

В промышленной и бытовой технике используются различные модификации устройств регулирования энергии для тепловых (нагревательных) элементов [1], различающиеся как по принципу действия и конструктивному исполнению, так и по комплексу применяемых задающих и коммутирующих органов ручного управления, присущих любому бытовому электронагревательному прибору.

В настоящее время ввиду конструктивной простоты и относительно низкой стоимости наибольшее распространение получили устройства регулирования энергии для нагревательных элементов, реализующие способы прямого двухпозиционного управления [2,]. На рисунке 1 представлена структурная схема устройства регулирования энергии для нагревательных элементов, а на рисунке 2 -- временные диаграммы, поясняющие его работу.

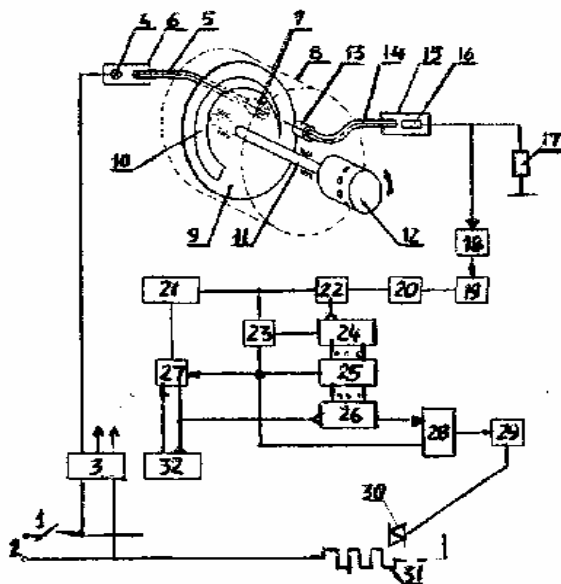


Рисунок 1. Устройство регулирования энергии

1 -- выключатель; 2 -- зажимы сети переменного тока; 3 -- вторичный источник низковольтного напряжения; 4 -- источник оптического излучения; 5 -- первый передающий кабель волоконно-оптической линии связи; 6 -- первый передающий оптико-механический соединитель; 7 -- первый приемный оптико-механический соединитель; 8 -- бесконтактный аналоговый фотоэлектрический датчик уровня мощности; 9 -- диск; 10 -- светопропускающая прорезь; 11 -- поворотный вал; 12 -- ручка управления; 13 -- второй передающий оптико-механический соединитель; 14 -- второй передающий кабель волоконно-оптической линии связи; 15 -- второй приемный оптико-механический соединитель; 16 -- фотодетектор; 17 -- нагрузочный резистор; 18 -- усилитель; 19 -- выпрямитель; 20 -- частотно-импульсный преобразователь; 21 -- управляющий генератор; 22 -- схема совпадения; 23 -- дифференцирующий формирующий элемент; 24 -- последовательно-параллельный накопительный регистр; 25 -- вентили переписи информации; 26 -- реверсивный счетчик; 27 -- ключ управления; 28 -- триггер-вентиль; 29 -- согласующее устройство; 30 -- силовой коммутирующий элемент; 31 -- нагревательный элемент; 32 -- регистр хранения кода длительности цикла регулирования.

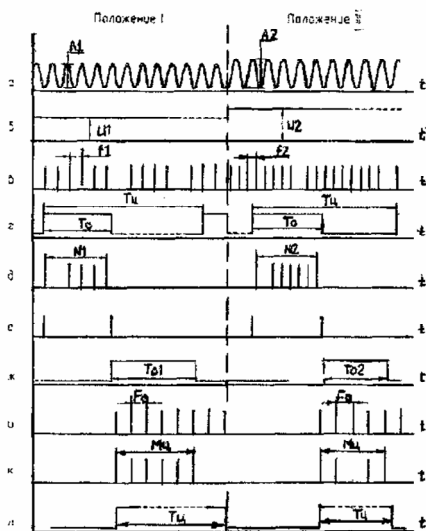


Рисунок 2. Диаграммы работы устройства

а -- электрический сигнал на выходе фотодетектора (16), пропорциональный модулированному по амплитуде A световому потоку при двух угловых положениях ручки (12) управления задатчика (8) (положение I, II); б -- постоянное напряжение U пропорциональное среднему амплитудному значению входного электрического сигнала; в -- преобразованное значение постоянного входного напряжения U в дискретную частотно-импульсную форму с частотой следования f , пропорциональной этому значению; г -- частотная двоичная последовательность с первого выхода генератора (21) с фиксированными длительностью T_0 , определяемой временем формирования задающего информационного сигнала, и периодом повторения $T_{ц}$, равным времени цикла регулирования энергии; д -- значение переменного кода N уставки уровня мощности; е -- отсчетные сигналы «начало» и «конец», соответствующие длительности временного интервала T_0 ; ж -- переменный временной интервал T_r регулирования энергии; и -- частотная последовательность стробирующих импульсов с постоянной частотой F_0 следования, поступающая со второго выхода генератора (21); к -- фиксированный код $M_{ц}$ длительности цикла регулирования; л -- временная последовательность циклов $T_{ц}$ регулирования.

После замыкания контактов выключателя сетевое напряжение переменного тока с зажимов поступает на вторичный источник низковольтного напряжения постоянного тока, необходимый для питания электронных узлов и блоков устройства регулирования и выработки переменного низковольтного напряжения, подаваемого на модулируемый источник оптического излучения, обеспечивая тем самым готовность устройства к работе.

Разработанное устройство регулирования энергии для нагревательных элементов в отличие от известных, применяемых в бытовых электронагревательных приборах, реализует бесконтактный фотоэлектрический способ формирования задающей установки уровня регулируемой энергии в числоимпульсной форме, основанного на фотометрировании проходящего через задатчик светового потока, передаваемого при помощи волоконно-оптической линии связи.

Созданное устройство позволяет пространственно разнести в зону пониженного температурного нагрева электронные блоки управления и исключить влияние внешних электромагнитных полей коротких замыканий, повысить технологичность изготовления и сборки устройств регулирования, что, в свою очередь, позволяет повысить надежность и в целом снизить себестоимость бытовых электронагревательных приборов.

Список использованных источников

1. Нагревательные бытовые электроприборы/ А.С. Варшавский, Л.В. Волкова и др. М.: Энергоиздат, 1981. 2. Блок контроля для электроплиты. Заявка № 2268799, Великобритания МКИ F24C/708 опубл. 19.01.1994.

Шатковский А.И., к.т.н., Базулина Т.Г.
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь
О МЕТОДАХ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕСИММЕТРИЧНЫХ
АСИНХРОННЫХ МАШИН

В практике проектирования и эксплуатации трехфазных асинхронных двигателей часто возникают вопросы о расчете несимметричных режимов работы.

Несимметричные машины могут быть изучены на основе общей теории электрических цепей. Математическая модель идеализированного трехфазного АД включает в себя систему дифференциальных уравнений напряжений обмоток статора и ротора, а также уравнения движения вращающихся частей. Взаимная индукция фаз – переменная величина, зависящая от положения ротора. Преобразование координат существенно упрощает систему дифференциальных уравнений. Однако исследование асинхронных машин на основе нелинейных дифференциальных уравнений связано с большим объемом математических вычислений и требует численных методов решения [1].

Основные явления в электрических машинах переменного тока вызываются действием основных пространственных гармонических кривых

распределения МДС обмоток и полей, возбуждаемых этими МДС. Каждая фаза создает синусоидально распределенную вдоль окружности зазора волну МДС. Эту МДС изображают в виде пространственного вектора, направление которого совпадает с осью фазы, где пространственная синусоида МДС достигает максимума, а его модуль равен амплитуде МДС. Магнитодвижущая сила в любой момент времени пропорциональна мгновенным значениям тока фазы. В теории электрических машин для анализа электромагнитных процессов применяют два фундаментальных подхода: метод двух реакций и теорию вращающихся полей. Метод двух реакций также называют методом продольного и поперечного полей, МДС каждой фазы машины (и статора, и ротора) проецируют на две взаимно перпендикулярные оси d и q , общие для всех фаз. Этот способ расчета применяется, в основном, для машин с магнитной асимметрией, имеющих явнополусную конструкцию. В этом случае осями d и q выбирают ось полюса и ось, ей перпендикулярную.

В этом методе вместо реальных токов в фазах рассматриваются эквивалентные им с точки зрения создания МДС токи по осям d и q . Если реальные фазы перемещаются относительно выбранных осей, то токи будут иметь различную с реальными токами частоту. Если в реальной машине существуют токи нулевой последовательности, то для них необходимо записывать независимую систему уравнений, так как их результирующая МДС равна нулю и не может быть учтена в двух осях.

Вместе с заменой многофазных систем эквивалентной двухфазной метод также предполагает заменить систему взаимно перемещающихся обмоток системой взаимно неподвижных. В асинхронных машинах с явнополусным статором вращающийся ротор заменяется неподвижным.

Метод двух реакций дает уравнения машины, удобные для расчета. Однако анализ физических процессов и общих свойств машины в таком виде затруднен. Кроме того, уравнения по одной оси зависят от уравнений другой оси. Этот метод в основном применяется для расчета синхронных машин и машин с магнитной и пространственной асимметрией.

Теория вращающихся полей заключается в том, что рассмотрение общего режима машины заменяется рассмотрением ее поведения в условиях круговых вращающихся полей. При питании двигателя напряжениями одной частоты в нем появляется эллиптическое электромагнитное поле, которое можно рассматривать как результат наложения двух круговых вращающихся полей. Данный метод имеет две модификации: метод двух вращающихся полей и метод симметричных составляющих.

В соответствии с методом двух вращающихся полей пульсирующее электромагнитное поле каждой фазы раскладывается на два взаимно перпендикулярных. Система уравнений записывается для $2m$ круговых вращающихся полей, а упрощение математического аппарата достигается за

счет одинаковой реакции ротора на все поля, вращающиеся в одинаковую сторону. Таким образом, несимметричная m -фазная машина рассматривается как сумма m однофазных. Данный метод наиболее часто используется для рассмотрения несимметричных режимов асинхронных машин.

По методу симметричных составляющих полные токи заменяются их составляющими. Совокупность составляющих токов одной последовательности образует круговое вращающееся магнитное поле этой последовательности. Достоинствами метода являются не только относительно легкое математическое решение полученной системы уравнений, но и возможность рассматривать каждую фазу двигателя в отдельности.

При первоначальных исследованиях машин с несимметричной обмоткой статора использовался метод двух вращающихся магнитных полей. Метод симметричных составляющих долгое время считался неприменимым к машинам с пространственной несимметрией обмоток. В случае симметричной машины Постников И.М., учитывая только основную гармонику, доказал, что оба метода эквивалентны и приводят к одной и той же системе уравнений. Затем была доказана эквивалентность этих методов и для трехфазных несимметричных асинхронных машин.

Теория обобщенного электромеханического преобразователя энергии, объединяющая теорию поля и теорию цепей, представляет магнитное поле в воздушном зазоре машины, которое формируется токами, протекающими в m обмотках на статоре и p обмотках на роторе.

Однако если не считать однофазных двигателей со вспомогательной обмоткой, единая теория многофазных несимметричных обмоток, доведенная до расчетных формул, необходимых для определения параметров, обмоток и характеристик двигателя, так и не была опубликована.

Список использованных источников

1. Новожилов А.Н. Метод численного моделирования эксплуатационных и аварийных режимов работы асинхронного двигателя / А.Н. Новожилов // *Электричество*. – 2000. – №5 – С.37-41.

Шатковский А.И., к.т.н., Базулина Т.Г., Виничек В.С.
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь
ОПЕРАТИВНАЯ ДИАГНОСТИКА ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ
ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ В УСЛОВИЯХ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Выбор электродвигателей, для производственных механизмов, производится на основе формализованных нагрузочных характеристик и механических характеристик рабочей машины и электродвигателя.

Задача выбора сводится к подбору мощности электродвигателя при которой, расчётная температура нагрева, за счёт потерь, не превысит допустимую для класса изоляции используемой в обмотках.

Всякое превышение допустимой температуры изоляции существенно сказывается на сокращении срока службы самого электродвигателя, поскольку изоляция обмоток электродвигателя является самым уязвимым местом. Примерно 90-95% процентов отказов электродвигателей происходит из-за возникающих дефектов обмоток, [1] которые являются следствием превышения рабочей температуры и причиной возникновения последующих дефектов вследствие разрушения самой изоляции.

Но на температуру электродвигателя оказывают влияние не только расчётные потери энергии, определяемые нагрузочной характеристикой, но и ряд трудно прогнозируемых факторов связанных с условиями эксплуатации, характерных для сельскохозяйственного производства. Так, например, из-за большой протяженности электрических сетей и небольшой мощности электрических подстанций реальное падение напряжения в питающей сети может превышать нормируемую величину - 10% и достигать - 15%, что вызывает значительное увеличение тока выше номинальных значений и увеличение времени пуска электродвигателя приводящих к дополнительному перегреву обмоток.

Особенно подвержены случайному перегреву электродвигатели кормоприготовительного оборудования из-за резко меняющихся механических характеристик обрабатываемых кормов. Кроме того, высокая заплыленность кормоприготовительных помещений отрицательно сказывается на теплопередаче, (корпус электродвигателя – окружающая среда), дополнительно увеличивая температуру перегрева.

Следует также отметить, что при аварийной замене электродвигателя, иногда приходится устанавливать, электродвигатель, отличающийся, от вышедшего из строя, что также может сказаться на интенсивности теплообмена, из-за разности конструктивных элементов.

Перечисленные факторы являются характерной причиной преждевременного отказа электродвигателей. Но их можно было бы избежать, обеспечив в подобных случаях температурный контроль, на начальном этапе эксплуатации. Анализ, температурных режимов, по результатам температурного контроля электродвигателя, позволил бы принять упреждающие меры, по снижению пиковых температурных нагрузок, что обеспечило бы таким образом, длительную без аварийную работу электродвигателя.

Одним из вариантов практического решения подобной задачи было бы использование для этой цели ТЕРМОХРОНОВ.

Миниатюрные термографы или устройства ТЕРМОХРОН с торговым обозначением DS1921 являются контактными регистраторами температу-

ры. Каждый из них представляет собой полностью защищенный одноканальный электронный самописец упакованный в герметичный металлический корпус, внешне напоминающий дисковую батарейку или "таблетку" со встроенным элементом питания.

Корпус изготавливается из высококачественной легированной нержавеющей стали толщиной 0,254 мм. Корпус устойчив к ударам и вибрациям, его можно ронять на землю или бетонный пол, он не боится воды, льда, кислот, масел, бензина, электромагнитных полей. Диаметр корпуса диска не превышает 17,35 мм, а его толщина составляет 5,89 мм. Для удобства крепления на обратной стороне корпуса предусмотрен специальный фланец.

Буфер последовательных отсчетов является основным сегментом памяти устройств ТЕРМОХРОН, в котором сохраняются результаты, накапливаемые этими регистраторами. Его содержимое состоит из набора последовательных отсчетов, каждый из которых представлен температурным значением, полученным в результате преобразования температуры, и соответствующей ему временной метки, фиксирующей, когда это преобразование было выполнено.

Таким образом, устройство ТЕРМОХРОН – являясь, по сути, миниатюрным автономным самописцем, сочетает в себе функции, обеспечивающие гибкий мониторинг температуры в условиях практически любых внешних воздействий, которые могут возникнуть в условиях сельскохозяйственного производства.

Следует отметить, что задача места установки и способа крепления является определяющей для обеспечения метрологических характеристик заявляемых производителем. И если способы крепления ТЕРМОХРОНОВ достаточно хорошо рассмотрены в техническом описании изготовителя, то вопрос оптимального места установки ТЕРМОХРОНОВ на корпусе электродвигателя для оперативной регистрации температуры обмоток, остаётся задачей для проведения дополнительных экспериментальных исследований. Тем не менее, при проведении измерений с применением ТЕРМОХРОНОВ, динамика температурных режимов электродвигателей регистрируется с метрологической погрешностью ТЕРМОХРОНА, а абсолютные значения температур, можно уточнять по градиентам температурного поля электродвигателя.

Список использованных источников

Гурин, В.В. Автоматическая защита оборудования. В 2ч. Ч.2.Защита асинхронных трёхфазных электродвигателей; учебно-методическое пособие/ В.В. Гурин: – Минск: БГАТУ, 2011.– 452с.

**Штемпель О.П., к.т.н., доцент, Пилипенко С.В., к.т.н., доцент,
Фруцкий В.А., к.т.н., доцент**

Полоцкий государственный университет, Новополоцк

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ШТАМПОВОЙ ОСНАСТКИ ПЛАЗМЕННОЙ НАПЛАВКОЙ

Расходы на штамповую оснастку составляют от 10 до 15 % себестоимости конечной продукции. Её внезапные поломки при длительных сроках изготовления зачастую приводят к срывам сроков поставок готовой продукции и соответствующим издержкам [1-4].

Штампы в основном изготавливают из углеродистых низколегированных сталей. В качестве способа упрочнения применяют науглероживание и закалку на мартенситно-карбидную структуру твердость поверхностного слоя - 60...65 HRC (при глубине цементации 1,5-2 мм) [2]. Одним из наиболее эффективных методов восстановления рабочей поверхности штампов является наплавка. При правильно выбранном составе наплавляемого металла она позволяет не только восстанавливать инструмент, но и повышает его межремонтную стойкость. Процесс наплавки плазменной дугой основан на использовании в качестве источника тепла струи плазмы, представляющей собой сильно ионизированное газообразное вещество, температура которого достигает 15000 °С. В качестве плазмообразующего газа используют аргон и гелий, которые обеспечивают наиболее высокую температуру плазмы.

При наплавке можно использовать присадочный материал в виде прутков, проволоки, лент и порошков [7-9]. При этом, очень важно, в каждом конкретном случае правильно выбрать материал и технологию нанесения наплавляемых покрытий.

На установке УПНС-304, плазменной наплавкой получали покрытия из диффузионно-легированных самофлюсующихся порошков. В качестве подложки использовали образцы из листа Ст3. Наплавку проводили на обратной полярности при силе тока 100 А. При наплавке опытной партии прошивных пуансонов были исследованы несколько режимов наплавки. В процессе подбора оптимального режима наплавки изменялись: сила тока, расстояние плазматрона от поверхности наплавляемой детали, и подача порошка. В результате было выяснено, что оптимальная сила тока = 55...60А. При больших значениях тока происходит сильный перегрев основного металла из-за малой толщины стенки детали (7- 11 мм), и он «течет» уже на первых витках наплавки. При меньших значениях тока ухудшается качество сцепления основного и наплавленного металлов. Для получения более качественного покрытия, без скруглений и подтеков металла на торце детали, а также для уменьшения вероятности проплавления основного металла на начальной стадии наплавки целесообразно применять заглушку. При токе 60А наплавка может вестись как с заглушкой,

так и без нее, но в этом случае необходимо предусмотреть большой припуск по длине пуансона. Также, в результате проведения наплавки опытной партии прошивных пуансонов, было выяснено, что требуемую толщину наплавленного слоя необходимо получать за 3-4 прохода, давая время остыть детали после наплавки каждого слоя. Оптимальное расстояние между деталью и плазматроном – 10-12 мм. При большем расстоянии происходит большой перерасход порошка, а при меньших – велика вероятность проплавления металла и получения некачественного покрытия. Расход плазмобразующего, транспортирующего и защитного газов – 35 л/ч. В качестве всех этих газов выступает аргон. Перед наплавкой порошок необходимо просушить при температуре 200-250 °С в течение 0,5 ч., т.к. порошок ПР-Х18Н9Р4Г4 очень гигроскопичен, что приводит при наплавке непросушенным порошком к большому количеству пор в наплавленном слое. После просушки порошок необходимо просеять на фракцию 100-200 мкм. Эти режимы обеспечивают получение качественного покрытия необходимой структуры с заданными свойствами.

Список использованных источников

- 1 Восстановление штамповой оснастки: [электронный ресурс] <http://neweld.ru/catalog/1.php> (дата обращения: 09.10.2019 Манеркина К. Д.,
- 2 Жданова Ю.Е. Производство и изготовление штамповой оснастки // Молодой ученый. – 2017. – №21. – С. 133-136
3. Поляк М.С. Технология упрочнения. Технологические методы упрочнения. В 2-х т. Т.1. – М.: «Л.В.М. – СКРИПТ», Машиностроение», 1995. – 832 с
4. Донской А. В., Клубикин В. С. Электроплазменные процессы и установки в машиностроении. – Л.: Машиностроение, 1979. – 221

**Челомбитько М.А., к.с.-х.н., доцент, Корко В.С., к.т.н., доцент
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь**

ИННОВАЦИОННЫЕ ИРРАДИАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ КОНСЕРВИРОВАНИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

В настоящее время во многих странах мира все шире применяются различные технологии нетепловой обработки пищевых продуктов, которые обеспечивают низкую энергоемкость за счет сокращения времени воздействия, высокую степень обеззараживания и сохранность качественных показателей обрабатываемой продукции.

Технологии облучения могут быть использованы для увеличения сроков хранения продукции, удлинения сроков ее реализации, уничтожения патогенной микрофлоры и насекомых-вредителей и т.п. [1].

При использовании иррадиационных методов обеззараживание пищевых продуктов при консервировании достигается за счет применения гамма-лучей (с радиоизотопом Co-60 или Cs-137), пучков электронов, генерируемых установками с энергией до 10 МэВ, или рентгеновских лучей энергией до 5 МэВ [1, 2].

Взаимодействия этих излучений с веществом приводят к поглощению определенного количества излучения и образованию энергетических электронов, случайных по всему телу, что вызывает образование энергетических молекулярных ионов. Эти ионы могут подвергаться захвату и диссоциации электронов, а также быстрой перегруппировке через ионно-молекулярные реакции или они могут диссоциировать со временем в зависимости от сложности молекулярного иона.

Воздействие излучения на вещество зависит от типа излучения и его энергетического уровня, а также от состава, физического состояния, температуры поглощающего материала и атмосферной среды. При надлежащем применении облучение может быть эффективным средством устранения и/или уменьшения микробной нагрузки и, следовательно, болезней пищевого происхождения, которые они вызывают, что повышает безопасность многих продуктов, а также увеличивает срок их хранения.

При обработке облучением продукты питания подвергают контролируемому количеству лучистой энергии для уничтожения вредных бактерий, таких как *E. coli*O157: H7, *Campylobacter*, *Listeria* и *Salmonella*. Технология также может инактивировать насекомых и паразитов, уменьшать порчу продукции, а также препятствовать созреванию и прорастанию семян.

Облучение осуществляется путем пропускания энергетических волн через продукты питания или напитки для генерирования реактивных ионов, свободных радикалов и возбужденных молекул. Эти генерированные частицы химически атакуют основные биомолекулы, включая ДНК и РНК, мембранные липиды, белки и углеводы бактерий, а также других патогенов и вредителей, вызывая их смерть или препятствуя их размножению. Соответственно, облучение лучше всего подходит для устранения проблем безопасности пищевых продуктов, которые содержат больше нуклеиновой кислоты, в следующем порядке: паразитов и насекомых-вредителей, бактерий и бактериальных спор.

Относительно эффективности облучения на каждом из этапов следует учитывать, что паразиты и насекомые-вредители требуют только десятичного снижения (доза радиации, которая приводит к 10-кратному сокращению данного микроорганизма) в 1 кГр или меньше. ДНК бактерий имеет десятичное значение уменьшения от 0,3 до 0,7 кГр, тогда как значения бактериальных спор составляют около 2,8 кГр. Вирусы, самые маленькие патогены с нуклеиновой кислотой, могут иметь десятичные значения уменьшения 10 кГр или выше.

Исследования показывают, что облучение на одобренных уровнях убивает 99,9% обычных пищевых организмов, включая *Salmonella*, *Campylobacter jejuni*, *E. coli* O157: H7, *Listeria monocytogenes*, *Vibrio*, *Toxoplasma gondii* и *Trichinella spiralis*. Обработка облучением продуктов из мяса и птицы позволяет снизить бактериальную нагрузку, сравнимую с пастеризацией теплом, хотя облучение неэффективно против микробных токсинов и микотоксинов [2, 3]. При этом возможно заменить или полностью исключить применение пищевых консервантов и фумигантов, опасных для работников и потребителей.

Поскольку облучение можно использовать для обработки упакованных продуктов, что снижает риск перекрестного загрязнения, регулирующие органы рассматривают этот метод как эффективную критическую контрольную точку для ВОЗ и МАГАТЭ. Соответствие требованиям можно легко контролировать, измеряя дозировку поглощенного излучения.

Одним из препятствий для маркетинга и продажи облученных продуктов является некорректное убеждение со стороны некоторых потребителей, что облученные продукты являются радиоактивными. Но поскольку энергия облучения просто проходит через пищевые продукты и применяемых уровней облучения недостаточно, чтобы вызвать изменения на атомном уровне, нет возможности получить продукты, сохраняющих радиоактивность после обработки. Еще одна проблема, которая связана с обработкой, заключается в потенциальном воздействии на заводских рабочих кобальта 60, источника гамма-излучения для пищевой обработки. Все объекты, использующие источники излучения, регулируются Комиссией по ядерному регулированию; объекты, которые используют источники электронного луча или рентгеновского излучения, регулируются медицинским рентгеновским изображением FDA [2, 4].

Благодаря разнообразию нетепловых технологий обработки, доступных на рынке, процессоры могут взвешивать требования к продуктам, упаковке и конфигурации линий, чтобы найти вариант, который лучше всего подходит для них.

Список использованных источников

1. Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности: состояние и перспективы. Сборник докладов международной научно-практической конференции, Обнинск, 26-28.09.2018. - 356с.
2. Moreira, RG Food irradiation using electron-beam accelerators / RG Moreira/ In: Hui YH (ed) Handbook of Food Science, Technology and Engineering. - Boca Raton, FL: CRC Press, 124: 2010. - p. 1-8.
3. Brewer, S. Irradiation effect on meat colour - a review. - Meat Science, 68 (1): 2004. - p. 1-17.
4. Lacroix, M. Combined industrial processes with irradiation to assure innocuity and preservation of food products / M. Lacroix, B. Quattara. A reviewed Food Research International, 33.- 2000. - p. 319-724.

СЕКЦИЯ 4 АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В АПК

**Барашко О.Г., к.т.н., доцент, Кобринец В.П. к.т.н., доцент,
Коровкина Н.П. к.пед.н., доцент**
Белорусский государственный технологический университет, г. Минск
**ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
SCADA-СИСТЕМЫ ДЛЯ КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК**

Автоматические системы управления энергосбережением дают возможность повысить следующие параметры производственного процесса: эффективность; безопасность; экономичность; и снизить неблагоприятное влияние на экологическое состояние окружающей среды. Энергосбережение и учет в системах ресурсообеспечения на автоматизированном уровне позволяет: анализировать работу всех систем предприятия; определять, какой именно узел или оборудование нуждается в первоочередной модернизации; управлять эффективностью эксплуатации систем отопления, водопровода, канализации, вентиляции, отопления; подсчитывать расходы на теплоизоляцию, освещение и другие, косвенно влияющие на энергоаудит параметры; создавать отчеты по любому показателю с высокой точностью; использовать ситуационное моделирование для рассмотрения реакции систем и сетей на различные влияния.

SCADA-система котельной управляет технологическим процессом в целом и выполняет задачу информационного обслуживания персонала, а ее структура является иерархической и распределенной. Для удобства управления ее удобно разбить на ряд взаимосвязанных модулей.

Модуль управления котлами (например, типа ПТВМ) включает в себя следующие системы: регулирования температура воды на выходе котла; подачи воздуха на горение; подачи топлива; регулирования разрежения в топке; регулирования температуры на входе в котел; регулирования расхода воды через котел. Модуль управления вспомогательного оборудования котельной также включает следующие системы: поддержания выходных параметров котельной в теплосеть (температура, давление); водоподготовки котельной; деаэрации подпиточной воды; управления необходимой мощностью и количеством работающих котлов; газораспределения котельной; резервного топливоснабжения внутри котельной. Модуль управления резервного топливного хозяйства включает следующие системы: подачи и хранения резервного (жидкого) топлива; подогрева жидкого топлива. Модуль управления станций сетевых насосов котельной объединяет систему управления сетевыми насосами и систему управления рас-

ходом воды сетевых насосов. Модуль управления станций химводоподготовки включает в себя систему очистки и подготовки воды для котельной.

В состав SCADA-системы входят средства, выполняющие функции отображения информации, ее архивирование и протоколирование, а также функции дистанционного управления контроллерами для вышеперечисленных модулей. Данная система строится по схеме клиент-серверной архитектуры и ее техническими средствами являются: сервер базы данных и тревог; автоматизированные рабочие места операторов; автоматизированное рабочее место инженера или начальника котельной; сервер точного времени; преобразователь интерфейса; маршрутизатор; источники бесперебойного питания.

Для отображения данных функционируют автоматизированные рабочие места операторов и инженера (начальника котельной), которые построены на обычных компьютерах. Преимущество данной системы состоит в том, что все АРМ взаимозаменяемы и при выходе одного АРМ из строя его можно быстро заменить другим. Для удобства операторов рекомендуется использовать дополнительное автоматизированное рабочее место с большой диагональю, на которой отображена полная информация по котельной.

Результаты внедрения SCADA-системы котельной: минимизация потребления энергоресурсов; централизованный учет потребления энергоресурсов – газа, тепла, воды, электроэнергии; увеличение срока службы оборудования вследствие оптимизации режимов его работы; увеличение срока службы оборудования вследствие обеспечения его равномерной нагрузки; обеспечение автоматизированного эффективного управления технологическими процессами в нормальных, переходных и предаварийных режимах работы; удаленная диагностика состояния оборудования; своевременное представление оперативному персоналу достоверной информации о ходе технологического процесса, состоянии оборудования и технологических средств управления.

Бубенько Д.А., Якубовская Е.С.

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь

ПУТИ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ПРИ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ПОДГОТОВКИ СЫРЬЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ СПИРТА

В производстве спирта наибольшей производительности можно достигнуть при соответствующей качественной подготовке сырья. Добиться выполнения этого требования невозможно без эффективной системы автоматизации технологической линии. Однако при этом необходимо также по возможности обеспе-

чить сбережение энергии, что также приведет к увеличению производительности производства. Определим возможные пути энергосбережения при автоматизации управления процессом подготовки сырья в производстве спирта.

В состав линии производства спирта входит линия подготовки сырья (рисунок 1) и линия получения спирта [1].

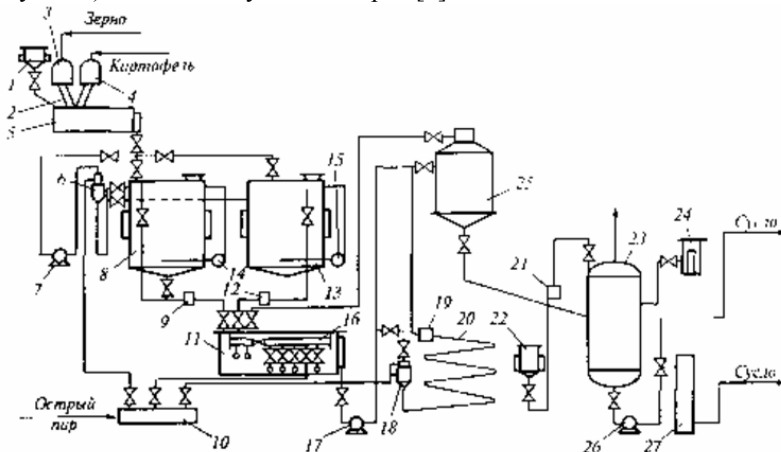


Рисунок 1 – Схема линии приготовления сусла:

- 1, 22, 24 – расходный сборник, 2 – лоток, 3, 4 – дробилка, 5 – смеситель, 6, 18 – контактная головка, 7, 14, 15, 17, 26 – насос, 8 – аппарат гидродинамической обработки, 9, 12, 21 – дозатор, 10 – распределитель пара, 11 – аппарат гидродинамической и ферментативной обработки II ступени, 13 – аппарат ферментативной обработки, 16 – мешалка, 19 – регулирующий клапан, 20 – стерилизатор, 23 – осаживатель, 25 – паросепаратор, теплообменный аппарат

Линия подготовки сырья может включать аппараты для подготовки зерна и картофеля либо только одного компонента. Один либо второй компонент измельчается в дробилке, затем подвергается гидродинамической или ферментативной обработке в аппаратах первой ступени. При этом дробленая зерновая масса должна пройти тепловую обработку паром через контактную головку 6. Наиболее сложный процесс происходит в аппарате 11 обработки второй ступени, где должно строго соблюдаться время температурной обработки (три секции с разными значениями температуры). Далее обработанное сырье поступает в паросепаратор, осаживатель и теплообменник.

Так наиболее сложный алгоритм управления необходимо задействовать для распределителя пара 10 и аппарата 11, обеспечив заданную температуру и выдержку времени обработки сырья. Для этого следует предусмотреть контур регулирования температуры пара и смоделировать

работу автоматизированного распределителя пара. По сведениям [2, с. 223] точность регулирования температуры обеспечит также некоторое энергосбережение. Реализовать непрерывное регулирование клапанами подачи пара по определенному закону плавного регулирования можно с помощью микропроцессорной системы управления на базе контроллера.

Таким образом, за счет точности поддержания температуры пара на разных этапах обработки сырья при производстве спирта в соответствии с плавным законом регулирования на базе контроллера будет обеспечено сокращение расхода пара и тем самым обеспечено некоторое энергосбережение.

Список использованных источников

1. Технологическая линия производства спирта [Электронный ресурс] Режим доступа: https://znaytovar.ru/s/Tehnologicheskaya_liniya_proizvod28.html. - Дата доступа: 25.10.2019.
2. Фурсенко, С.Н. Автоматизация технологических процессов: учеб. пособие / С.Н. Фурсенко, Е.С. Якубовская, Е.С. Волкова. — Минск: Новое знание ; М.: ИНФРА-М, 2015. — 376 с.

**Говрас К.А., магистрант; Барайшук С.М., к.ф.-м.н., доцент
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь
АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ
МИКРОКЛИМАТОМ ОВОЩЕХРАНИЛИЩА**

Введение. В условиях непрерывного развития технологий и алгоритмов управления различными автоматизированными системами встал вопрос о создании собственной системы управления микроклиматом овощехранилища насыпного типа, позволяющая получить экономию различных ресурсов, энергоемких и трудовых, для экономии финансов, рабочего времени, а также увеличения производительности труда сельскохозяйственных предприятий.

Результаты и обсуждение. Анализируя рынок современных сельскохозяйственных систем для автоматизации различных процессов были выделены тенденции внедрения современной элементной базы в целях повышения быстродействия систем управления (использование высокопроизводительных контроллеров – например, типа Овен - позволяет усложнить СУ, позволяя устанавливать больше датчиков и разбивать систему на ряд более простых подсистем). При построении систем управления делается акцент на визуализацию технологического процесса. В ряде случаев специалисты могут в режиме реального времени наблюдать за процессом хранения различных видов сельскохозяйственных культур, что экономит человеческий ресурс, уменьшая затраты в трудочасах на выполнение операции по определенному алгоритму.

Усложнение систем телемеханики, вкупе с использованием пид-регуляторов позволяет настраивать более точный диапазон параметров хранения: температуры, влажности, режима вентиляции. Корректный подбор материалов с необходимой теплопроводностью на стадии проектирования систем хранения сельскохозяйственных культур, а также анализа климатических параметров окружающей среды в месте хранения.

Автоматизированная система управления, предназначенная для контроля среды в овощехранилищах насыпного и контейнерного типа, обеспечивает оптимальные условия хранения при минимальном потреблении электроэнергии. Как правило, система управления имеет несколько заранее запрограммированных режимов работы – проветривание, охлаждение, сушка, рециркуляция, аварийное нагревание, кроме того, в современных системах предусматривают режим обеззараживания газовой атмосферы хранилища [2]. На основании показаний датчиков выбирается нужный режим работы. Датчики продукта, измеряющие температуру и влажность овощей, помещаются внутри навала и под потолком, где они предназначены для определения наличие тепловой воздушной подушки, приводящей к образованию конденсата. Кроме того датчики температуры и влажности необходимы в напорном канале для возможности контролировать параметры воздуха, поступающего в помещение. Также в системе устанавливается датчик углекислого газа, как правило в потоке обратного воздуха из хранилища.

Следует помнить про комплекс мер перед закладкой продукции в хранилище по очистке от мусора, просушке, дезинфекции складского и вентиляционного оборудования, что является минимизацией потерь при хранении. Плохое состояние поступившего на хранения картофеля или овощей может привести к высоким потерям. Продукт перед закладкой на хранение должен быть здоровыми, чистыми, сухими и созревшими, поэтому важно не только своевременно провести борьбу с болезнями и вредителями в вегетационный период, но и грамотно осуществить закладку продукции на хранение, а так же постоянно очищать и обеззараживать атмосферу хранилища, следя при этом за параметрами среды [3, 4].

Для каждого вида овощей существуют свои оптимальные параметры хранения и, соответственно, настройки параметров температуры и рециркуляции газо-воздушной смеси при хранении. Что приводит к необходимости создать специальную программу управления параметрами среды и температурой хранения на основе распределительных по всему объему хранения датчиков температуры, влажности, газового состава в зависимости от загрузки, и режима хранения для данного продукта.

Заключение. Для помещений хранения овощной продукции требуется разработать комплекты оборудования, обеспечивающие поддержание регулируемых параметров воздушной среды по температуре, влажности, газовому составу, ионному составу, скорости движения воздуха в соответствии с зоотехническими нормами.

Список использованных источников

1. Ильин И.В. Обоснование конструктивных параметров вентиляционно-отопительного оборудования с утилизацией тепла // Технологическое и техническое обеспечение производства продукции: научные труды ВИМ. М. : ГНУ ВИМ, 2002. Т. 142. Ч. 2. С. 76.
2. Бусел Д.В. Изменение физико-химических параметров воздуха для оптимизации процесса хранения овощной продукции / Бусел Д.В., Барайшук С.М., Корко В.С. Наука, техника и образование 2017. № 3 (33), С. 33–37.
3. Бурцев С.И. Влажный воздух. Состав и свойства: учеб, пособие. / С.И. Бурцев, Ю.Н. Цветков. СПб.: СПбГАХПТ, 1998. 146 с.
4. Николаенков А.И., Мелешенко Б.А., Ананчинков М.А., Сысоев И.В. Ловкие В.Б. / Способ комбинированной очистки и обеззараживания воздуха // Номер патента ВУ 2541 U 2006.02.28. Официальный бюллетень Национального центра интеллектуальной собственности РБ «Изобретения. Полезные модели. Промышленные образцы». Минск, 30.06.2007. С. 37–41.

**Гируцкий И.И., д.т.н., доцент; Сеньков А.Г., к.т.н., доцент;
Гриб А.Ф., к.ф.-м.н., Ракевич Ю.А.**

***УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь***

ДИАГНОСТИКА МАСТИТА КОРОВ ТЕРМОГРАФИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Мастит является наиболее распространенным и дорогостоящим инфекционным заболеванием у молочного скота. Раннее выявление мастита очень важно для снижения экономических потерь, молочной промышленности. Автоматические методы раннего и надежного обнаружения мастита в настоящее время находятся на стадии разработки. Температура поверхности кожи является важным показателем для диагностики болезней коровы и для оценки их физиологического статуса. Инфракрасная термография (IRT) представляет собой простой, эффективный, неинвазивный метод, который обнаруживает поверхностное тепло, излучаемое как инфракрасное излучение и генерирует графические изображения, не вызывая радиационного облучения.

В сельском хозяйстве IRT можно использовать как диагностический инструмент для оценки нормального и физиологического состояния животного для раннего выявления субклинического мастита, выявления оценки хромоты, оценки эффективности использования кормов, для оценки воздействия доильного оборудования на вымя и соски животного.

Экспериментальное исследование проводилось на молочно – товарной ферме Павлово – Агро, СПК филиал ОАО «Слонимский мясокомбинат» Слонимского района, Гродненской области, системой автоматизирован-

ной диагностики, тепловизором марки DT – 9875 доильных аппаратов марки GEA Westfalia Classic 300, на основе оперативного анализа инфракрасных изображений вымени.

Наблюдается корреляция между температурой вымени и результатами кенотеста (зоотехнический метод) по диагностике заболевания коровы маститом (табл.). Для повышения надежности выявления заболеваний маститом необходим учет возмущающих факторов, таких как температура окружающей среды, влага, породные особенности и т.д.,

Табл. Результаты экспериментальных исследований температуры долей вымени в условиях МТК

№	Инв. № коровы	Метод исследования	Результаты исследования долей вымени					
			передние			задние		
			левая	правая	ΔT_{max}	левая	правая	ΔT_{max}
1	132	Кенотест	++	-		-	-	
		Термодиагностика, °C	38,6	37,0	1,6	36,8	36,4	0,4
2	736	Кенотест	-	-		-	-	
		Термодиагностика, °C	34,5	34,7	0,3	35,1	35,3	0,2
3	656	Кенотест	-	-		-	+++	
		Термодиагностика, °C	36,4	36,5	0,2	36,4	40,5	4,1
4	677	Кенотест	+	-		-	-	
		Термодиагностика, °C	37,8	36,8	1,0	36,2	35,9	0,3
5	517	Кенотест	-	-		+	-	
		Термодиагностика, °C	34,1	34,2	0,1	37,4	36,2	1,2
6	547	Кенотест	+++	-		-	-	
		Термодиагностика, °C	39,2	36,7	2,5	36,4	36,4	0
7	786	Кенотест	-	++		-	-	
		Термодиагностика, °C	37,0	38,5	1,5	36,5	36,9	0,4
8	862	Кенотест	-	-		-	-	
		Термодиагностика, °C	35,6	35,8	0,3	36,2	36,0	0,2
9	211	Кенотест	-	-		-	++	
		Термодиагностика, °C	35,1	35,6	0,5	36,6	38,4	1,8
10	314	Кенотест	-	+++		-	-	
		Термодиагностика, °C	36,7	39,1	2,4	36,2	36,7	0,5

(-) – отрицательная проба с кенотестом;

(+) – сомнительная проба с кенотестом;

(++) – субклиническая стадия мастита;

(+++) – клинически выраженная стадия мастита

Однако температурная граница между различными стадиями мастита флуктуирует, что требует разработки статистической модели обработки результатов эксперимента.

Список использованных источников

- Poikalainen, V., Praks, J., Veermäe, I. and Kokin, E. (2012) Infrared temperature patterns of cow's body as an indicator for health control at precision cattle farming. Agron. Res. Biosyst. Eng., 1: C. 187-194.
- Alejandro, M., Romero, G., Sabater, J.M. and Diaz, J.R. (2014) Infrared thermography as a tool to determine teat tissue changes caused by machine milking in MurcianoGranadina goats. Livest. Sci., 160: C. 178-185.

Жур А.А., ст. преподаватель, Гриб А.Ф. к.ф.-м.н.
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь
ПРАКТИКО ОРИЕНТИРОВАННАЯ ПОДГОТОВКА СТУДЕНТОВ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ «МОНТАЖ СРЕДСТВ АВТОМАТИКИ»

Ключевые слова: принципиальная электрическая схема, монтажная схема, щит управления.

Аннотация: Разработка принципиальной электрической схемы щита управления. Монтаж электрооборудования и средств автоматизации на монтажной плате.

Автоматизация производства является одним из приоритетных направлений. Для эксплуатации, проектирования и разработки автоматических и автоматизированных систем управления технологическими процессами, будущим специалистам необходимо, изучить современные средства автоматизации.

Дисциплина «Монтаж средств автоматики» формирует базу знаний для решения задач по разработке и эксплуатации систем автоматизации технологических процессов. Персонал, осуществляющий электромонтажные работы, должен обладать высокой квалификацией, уметь разрабатывать монтажные схемы, выбирать оборудование и производить качественный монтаж.

При разработке монтажных схем щита управления необходимо руководствоваться следующими правилами.

1. Составление схемы щита управления проводится на основании требований технического задания.

2. На электрической принципиальной схеме показываются все электрические связи между входящими в нее элементами электрооборудования технологического процесса.

3. Для повышения надежности работы схемы нужно выбрать наиболее простой вариант, имеющий наименьшее количество органов управления, аппаратов и контактов.

4. Подача напряжения на силовые цепи и цепи управления должна производиться посредством вводного пакетного выключателя или автоматического выключателя.

5. Различные контакты одного и того же электромагнитного аппарата подключать к одному полюсу или фазе сети.

6. Для обеспечения надежной работы электрооборудования должны быть предусмотрены средства электрической защиты и блокировки.

7. Электрическая схема должна быть построена так, чтобы при перегорании предохранителей, обрыве цепей катушек, приваривании контактов не возникало аварийных режимов работы электропривода.

8. В сложных схемах управления необходимо предусмотреть сигнализацию и электроизмерительные приборы, позволяющие оператору наблюдать за ходом выполнения технологического процесса.

9. Для удобства эксплуатации и правильного монтажа электрооборудования зажимы всех элементов электроаппаратов, электрических машин и провода на схемах маркируются.

На основании вышеизложенного составляется, монтажные электрические схемы и производится монтаж (рисунок 1) учебного щита управления. Щит управления включает монтажную панель. На панель устанавливается блок питания, дин рейки для монтажа электрических компонентов и контроллера AL2 14MR-D, кабель каналы для прокладки монтажных проводов, клеммные колодки для подключения внешнего оборудования.

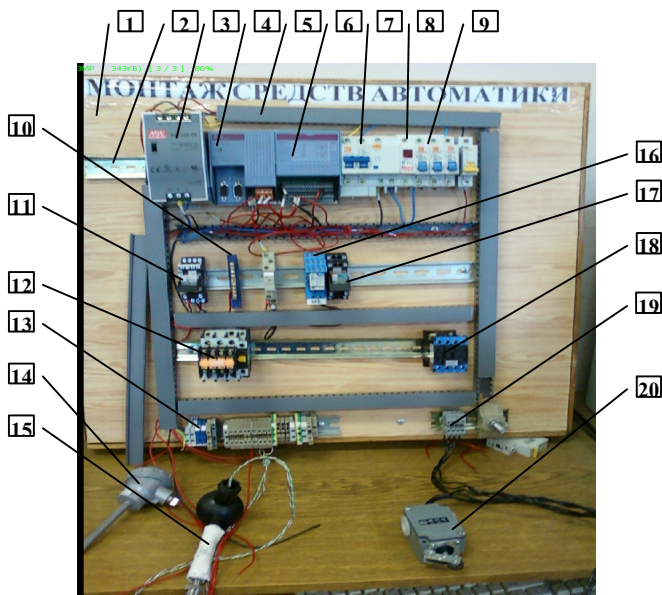


Рисунок 1 Внешний вид стенда

- 1 – монтажная панель; 2 – DIN рейка; 3 – блок питания; 4 – процессор CP430;
5 – кабель канал; 6 – комбинированный модуль CM211; 7 – дифференциальный автомат;
8 – индикатор наличия фазы; 9 – автоматические выключатели;
10 – шина нулевая в изоляторе; 11, 16, 17 – промежуточные реле 12, 18 – пускатели;
13, 19 – клемники 14, 15 – датчики температуры 20 – концевой выключатель

После окончания монтажных работ проводится автономная наладка стенда в следующей последовательности:

1. проверка монтажа приборов и средств автоматизации схем;
2. проверка правильности маркировки линий связи;
3. проверка правильности выбора устройств защиты;

4. фазировка и контроль характеристик исполнительных механизмов;
5. настройка логических и временных взаимосвязей систем сигнализации, защиты, блокировки и управления;
6. проверка правильности прохождения сигналов;
7. подготовка к включению и включение в работу систем автоматизации для обеспечения индивидуального испытания технологического оборудования и корректировка параметров настройки аппаратуры систем в процессе их работы;

Разработанный стенд может использоваться для проведения лабораторных работ по дисциплинам “Монтаж средств автоматики”, а также лабораторных работ по дисциплине “Эксплуатация систем автоматизации”.

Список использованных источников

1. Грунтович, Н.В. Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования / Н.В. Грунтович, - Минск: Новое знание; М., ИНФА-М, 2013. – 271с.
2. Жур, А.А. Монтаж средств автоматики. : лабораторный практикум / А.А. Жур, – Минск: БГАТУ.2017. – 152с.

**Кулаков Г.Т., д.т.н., профессор, Кулаков А.Т., к.т.н., доцент,
Белорусский национальный технический университет
Ковалев В.А., к.т.н., доцент
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь**

**МОДИФИКАЦИЯ ИНВАРИАНТНЫХ СИСТЕМ
АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ С ВЫДЕЛЕНИЕМ
ЭКВИВАЛЕНТНЫХ ВНЕШНИХ ВОЗМУЩЕНИЙ**

В теплоэнергетике широкое распространение получили типовые двух-контурные системы автоматического регулирования (САР) с дифференцированием промежуточного сигнала. Модернизация таких систем с целью улучшения качества регулирования может быть основана на использовании усовершенствованной модификации алгоритма Смита в инвариантных САР с выделением эквивалентных внешних возмущений без их непосредственного измерения [1,2,3].

Структурная схема моделирования переходных процессов в САР с дифференцированием промежуточного сигнала и инвариантной системы в пакете Simulink приведена на рис. 1.

Здесь динамика опережающего участка объекта регулирования задана передаточной функцией инерционного звена второго порядка, инерционного участка – передаточной функцией инерционного звена второго порядка с условным запаздыванием, а крайнего внешнего возмущения инерционным звеном первого порядка.

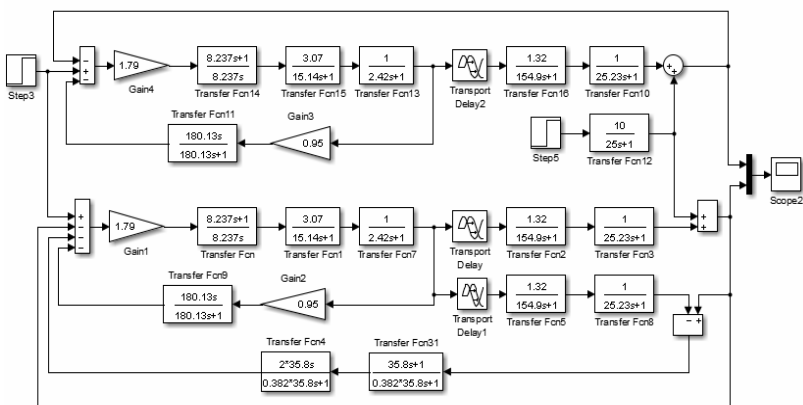


Рисунок 1 – Модели типовой САР
с дифференцированием промежуточного сигнала и инвариантной систем

Параметры динамической настройки основного дифференциатора рассчитаны по методу полной компенсации в частном виде, а регулятора – по методу частичной компенсации с учетом коэффициента передачи основного дифференциатора [2].

При этом в инвариантной системе параллельно инерционному участку реализована передаточная функция его модели, динамика которой соответствует динамике реального участка. Разность между основной регулируемой величиной и выходом модели подается на вход устройства компенсации внешнего эквивалентного возмущения, выход которого подключен к входу регулятора.

Структуру устройства компенсации (УК) можно определить следующим образом.

Основная передаточная функция $W_{3Д}(p)$ замкнутой системы при отработке скачка задания имеет следующий вид [2]:

$$W_{Y, X_{3Д}}(s) = W_{3Д}(s) = \frac{1}{2\tau_Y s^2 + 2\tau_Y s + 1}, \quad (1)$$

где τ_Y - условное запаздывание по каналу регулирующего воздействия.

Условие инвариантности по отношению к скачку внешнего возмущения примет вид [3]:

$$W_{УК}^{f_2}(s)W_{3Д}(s) = [1 - W_{3Д}(s)], \quad (2)$$

откуда передаточная функция устройства компенсации будет равно

$$W_{\text{УК}}^{f_2}(s) = \frac{2\tau_Y s(\tau_Y s + 1)}{(T_{\text{ЗД}} s + 1)^2}, \quad (3)$$

где $T_{\text{ЗД}}$ - параметр динамической настройки устройства компенсации.

Параметр $T_{\text{ЗД}}$ настройки, добавленный в знаменатель передаточной функции (3) для физической реализуемости устройства компенсации, равен $T_{\text{ЗД}} = \gamma\tau_Y$.

При значении коэффициента $\gamma = 1$ передаточная функция устройства компенсации примет вид реального дифференцирующего звена

$$W_{\text{УК}}^{f_2}(s) = \frac{2\tau_Y s}{\tau_Y s + 1}. \quad (4)$$

При практическом использовании таких систем возникает проблема технической реализации модели инерционного участка в виде инерционного звена второго порядка с запаздыванием. Звено запаздывания $W_{\tau}(s)$ можно приближенно заменить инерционным звеном первого порядка с передаточной функцией [4, стр.47]

$$W_{\tau}(s) = e^{-\tau_Y s} \approx \frac{1}{\tau_Y s + 1}. \quad (5)$$

С учетом передаточной функции (5) модель инерционного участка объекта на рисунке 1 можно представить в виде инерционного звена третьего порядка:

$$W_{\text{УК}}^{f_2}(p) = \frac{1,32}{(154,9s + 1)(35,8s + 1)(25,235s + 1)}, \quad (6)$$

где $\tau_Y = 35,8$ с.

Графики переходных процессов в типовой и инвариантной системе автоматического регулирования с дифференцированием промежуточного сигнала при отработке внешнего возмущающего воздействия приведены на рисунке 2.

При этом величина интегральной оценки по модулю регулируемой величины в инвариантной САР (график 2) уменьшается по сравнению с типовой двухконтурной системой с дифференцированием промежуточного сигнала (график 1) при $\gamma = 0,382$ на 40 %.

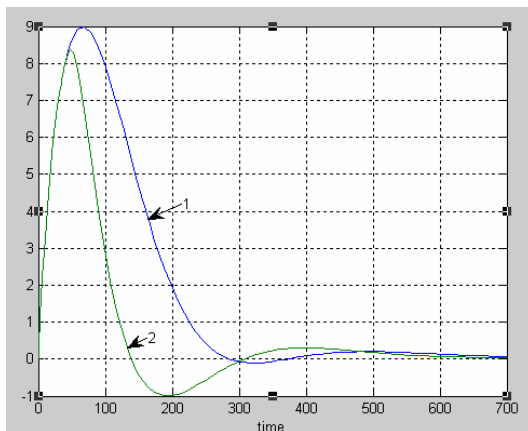


Рисунок 2 - Графики переходных процессов в типовой САР с дифференцированием промежуточного сигнала и инвариантной системе при отработке внешнего возмущения

Простота технической реализации инвариантной САР с дифференцированием промежуточного сигнала позволяет рекомендовать ее для широкого применения в области автоматизации теплоэнергетических процессов.

Список использованных источников

1. Кузьмицкий, И.Ф. Теория автоматического управления: учебник для Вузов/И.Ф. Кузьмицкий, Г.Т. Кулаков. – Минск: БГТУ, 2010. 574с.
2. Кулаков, Г.Т. Инженерные экспресс-методы расчета промышленных систем регулирования: справочное пособие/Г.Т. Кулаков. – Минск: Высшэйшая школа, 1984. – 192с.
3. Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами: учеб. пособие/Г.Т. Кулаков [и др.]; под ред. Г.Т. Кулакова. – Минск: Высшэйшая школа, 2017. – 238с.
4. Ф. Фрер, Ф. Орттенбургер. Введение в электронную технику регулирования/Ф. Фрер, Ф. Орттенбургер. Пер. с нем. – М.: Энергия, 1973. – 192с

Матвеев И.П., к.т.н., доцент, Букенов А.В.

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь

МОДЕЛИРОВАНИЕ СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ШАГОВЫМ ДВИГАТЕЛЕМ НА ОСНОВЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА AVR

Системы автоматизированного управления электродвигателями, как правило, включают электронные схемы с использованием микроконтрол-

леров различных типов. Однако отладка работы реальных контроллеров оказывается затратной задачей, так как необходимо написать программу, с помощью программатора «прошить» процессор, подключить к выходу контроллера электродвигатели и только тогда наглядно увидеть результат своей работы. Решить такую задачу проще стало возможным благодаря компьютерному моделированию.

К наиболее распространенным в настоящее время в отечественной практике системам и программам схемотехнического проектирования в электронике относятся системы Micro-Cap, Electronic WorkBench, MathLab, Proteus.

Для проведения компьютерного моделирования была использована программа Proteus.

Proteus (by Labcenter Electronics) – симулятор принципиальных электронных схем. Основывается работа программы на моделях электронных составляющих. Proteus содержит большую библиотеку электронных компонентов. Библиотека Proteus содержит также основные типы микроконтроллеров: AVR, ARM, PIC. Главное преимущество и характерная особенность Proteus – опции по моделированию работы разнообразных программируемых устройств: микропроцессоров и микроконтроллеров.

В частности, микроконтроллеры Atmel megaAVR являются идеальным выбором для проектов, которым нужны дополнительные функциональные возможности. Они обладают памятью программ и данных большого объема при быстродействии до 20 млн. операций в секунду. Семейство megaAVR является наиболее разнообразным с точки зрения характеристик, например объемов памяти, количества выводов, набора периферийных устройств, возможности повторного использования кода в различных проектах. С помощью программы Proteus можно создать и проверить работу спроектированной электрической схемы с микроконтроллером.

В данной работе была спроектирована схема управления шаговым электродвигателем.

Для создания проекта была собрана виртуальная электронная схема, которая включает микроконтроллер AVR фирмы ATMEL типа ATMEGA16, микросхему ULN2003 (ULN2003a), схему изменения направления движения ротора с кнопками Revers-Forward, схему питания и кварцевый генератор для задания частоты импульсных сигналов.

Микросхема ULN2003 (ULN2003a) является набором мощных составных ключей для применения в цепях индуктивных нагрузок. Применяется для управления нагрузкой значительной мощности, включая электромагнитные реле, двигатели постоянного тока, электромагнитные клапаны, в схемах управления различными шаговыми двигателями. Каждый канал в ULN2003 рассчитан на нагрузку 500 мА и выдерживает максимальный ток до 600 мА. Входы и выходы расположены в корпусе микросхемы друг напротив друга, что значительно облегчает разводку печатной платы.

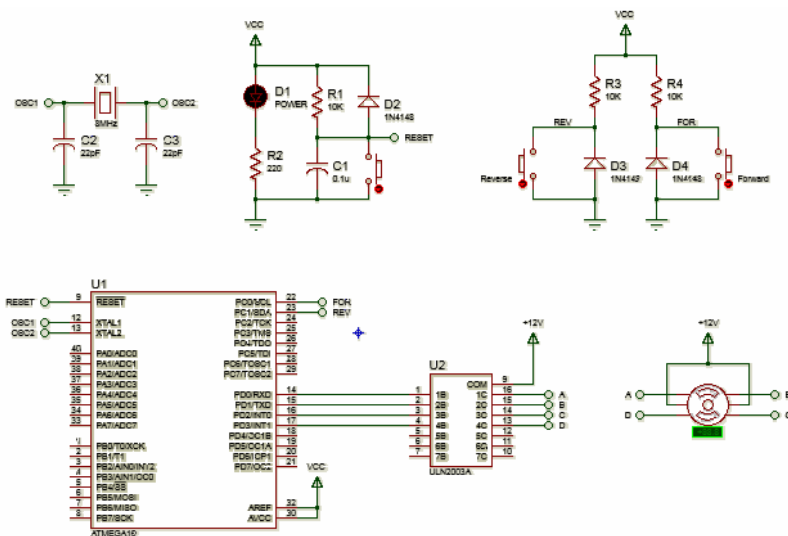


Рисунок 1 – Спроектированная схема управления шаговым двигателем

После размещения элементов на выделенном пространстве и сбора схем, проверяем работу собранного устройства в соответствии с разработанной программой, записанной в микроконтроллер. Запускаем эмуляцию программы, и наблюдаем работу схемы в соответствии с программой [2] для микроконтроллера.

Контроллер вырабатывает управляющий код, поступающий на микросхему ULN2003, в зависимости от количества импульсов, формируемых кнопками Revers-Forward.

В процессе эмуляции визуально наблюдаем вращение электродвигателя, управление скоростью и направлением вращения осуществляется кодом, задаваемым микроконтроллером.

Таким образом, используя программу Proteus, можно достаточно легко смоделировать электронную схему с микроконтроллером AVR и электродвигателями (в данном случае-шаговым), составляющими основу роботизированных устройств, провести её отладку. И только потом создавать реальное устройство, зная, что оно работоспособно.

Список использованных источников

1. Электронный ресурс: <http://fb.ru/article/206826/arduino-dlya-nachinayushih-poshagovyye-instruktsii-programmirovaniye-i-proektyi-arduino-shego-nachat>.
2. Электронный ресурс: <http://www.joyta.ru/551-upravlenie-shagovym-dvigatелем/>

ИССЛЕДОВАНИЕ И СИНТЕЗ УСТОЙЧИВЫХ СЕМЕЙСТВ ПОЛИНОМОВ НА ОСНОВЕ ДОМИНИРУЮЩЕГО ПОЛЯ

Динамическая система, характеристический полином, интервальный полином, устойчивость, поле корневых траекторий, синтез, анализ.

Рассматриваются семейства характеристических полиномов динамических систем третьего порядка с коэффициентами в пределах заданных интервалов значений [1, 2]. Исследование устойчивости семейства и синтез новых значений параметров при необходимости осуществляется на основе анализа ориентации доминирующего поля корневых траекторий семейства в плоскости собственных частот системы.

1. Корневая модель динамической системы

При полиномиальном описании динамических процессов в системе в виде

$$s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_{n-1} s + a_n = p(s), \quad (1.1)$$

где $n = 3$, $a_j \in [\underline{a}_j, \overline{a}_j]$, уравнение свободного корневого годографа (УСКГ) и уравнение параметра (УП) годографа [1] полинома (1.1), описывающие динамику на границе устойчивости, имеют следующий вид:

$$\text{УСКГ:} \quad \omega^3 - a_2 \omega = 0; \quad (1.2)$$

$$\text{УП:} \quad a_1 \omega^2 = a_3. \quad (1.3)$$

Корневой портрет P системы (1.1) определяется в форме семейства двухпараметрических полей F_i корневых траекторий [1]:

$$P = \{F_i\}, i = 1, 2, \dots \quad (1.4)$$

В качестве параметра годографа устанавливается свободный коэффициент a_3 , а в качестве (свободного) параметра поля – коэффициент a_2 полинома (1.1).

Определение 1. Доминирующим в семействе полей корневых траекторий (1.4) назовем поле $F_i = F_d$, при расположении которого в левой полуплоскости s корней весь корневой портрет системы располагается в левой полуплоскости.

2. Устойчивость полиномиального семейства

Определение 2. Корневой годограф $h_i = h_d$ доминирующего поля F_d корневых траекторий полинома (1.1), устойчивость которого гарантирует устойчивость поля F_d , назовем доминирующим корневым годографом поля (портрета).

В результате проведенного исследования корневого портрета с исполь-

зованием выражений (1.2), (1.3) установлено следующее.

Утверждение. Доминирующий корневой годограф $h_d(s)$ полиномиального семейства (1.1) описывается уравнением

$$s^3 + \underline{a}_1 s^2 + \underline{a}_2 s + a_3 = h_d(s), \quad (2.1)$$

а доминирующий полином – уравнением

$$s^3 + \underline{a}_1 s^2 + \underline{a}_2 s + \bar{a}_3 = p_d(s). \quad (2.2)$$

Тогда функция поля F_d определяется выражением

$$f_d(\sigma, \omega) = \omega^2 - 3\sigma^2 - 2\underline{a}_1 \sigma, \quad (2.3)$$

а уравнение линий уровня поля F_d – выражением

$$\omega^2 - 3\sigma^2 - 2\underline{a}_1 \sigma = a_2. \quad (2.4)$$

На рис. 1 показаны два варианта расположения доминирующего поля системы в плоскости корней: рис. 1, а – неустойчивое (частично в правой полуплоскости) и рис. 1, б – устойчивое (полностью в левой полуплоскости). Поле F_i корневых траекторий пересекает границу устойчивости в области $C = [c_1, c_2]$ (рис. 1).

Условие устойчивости. Семейство характеристических полиномов (1.1) динамической системы асимптотически устойчиво, если доминирующее поле F_d (2.3) системы (доминирующий годограф h_d (2.1)) располагается в левой полуплоскости корней.

Анализ устойчивости можно выполнять в графическом режиме по расположению построенного на экране дисплея доминирующего поля относительно границы устойчивости.

Настройка параметров выполняется на основе выражений (2.1) – (2.4), как правило, посредством определения значений интервалов параметров a_2 и a_3 в соответствии со следующими выражениями:

$$0 < a_3 < \min(a_3(c_i)), a_2(c_i) < a_2 < a_2(c_m), \quad (2.5)$$

где $a_3(c_i)$, $a_2(c_i)$ – значения коэффициентов a_3 и a_2 в определенной точке c_i , $i = 1, 2, \dots, m$, пересечения границы устойчивости i -й линией уровня доминирующего поля F_d (рис. 1).

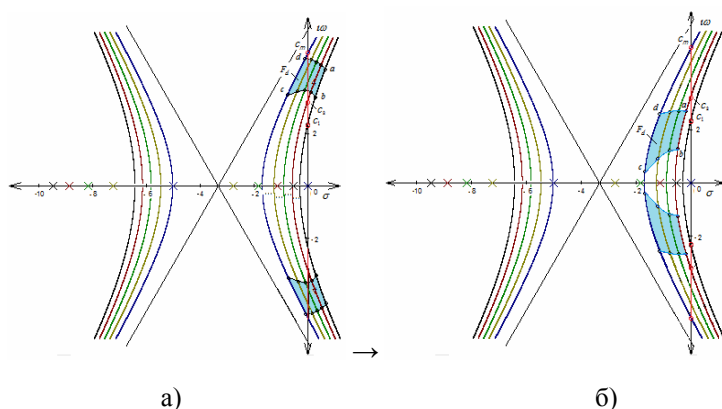


Рис. 1. Поля корневых траекторий полинома $s^3 + 10s^2 + a_2s + a_3 = p(s)$ при $a_3 \in [-\infty, +\infty]$ и доминирующее поле $F_d = abcd$:
а) исходное неустойчивое при $a_2 \in [5, 25]$, $a_3 \in [130, 250]$;
б) перемещенное устойчивое при $a_2 \in [10, 25]$, $a_3 \in [70, 20]$.

На рис. 1 приведен пример настройки параметров согласно выражению (2.5), позволившей переместить доминирующее поле из неустойчивого состояния (рис. 1, а) в устойчивое (рис. 1, б).

Точка c_i может выбираться произвольно в соответствии с желанием пользователя.

Результаты работы могут быть использованы при синтезе систем управления объектами, параметры которых подвержены значительным изменениям в процессе функционирования.

Список использованных источников

1. Dorf, R. Modern Control Systems / R. Dorf, R. Bishop. – N.Y.: Prentice Hall, 2011. – 1111 p.
2. Несенчук, А.А. Анализ и синтез робастных динамических систем на основе корневого подхода / А.А. Несенчук. – Мн: ОИПИ НАН Беларуси, 2005. – 234 с.

Опейко О. Ф., к.т.н., доцент

**Белорусский национальный технический университет г. Минск,
 СИНТЕЗ ПИД РЕГУЛЯТОРА ЭЛЕКТРОПРИВОДА
 ТУРБОМЕХАНИЗМА**

Электропривод турбомеханизма является нелинейным объектом управления с переменными параметрами [1]. Синтез линейного робастного ПИД регулятора для нелинейного объекта возможен после линеариза-

ции объекта и определения интервалов изменения параметров в передаточной функции. Необходимо определить параметры ПИД регулятора по требуемым показателям качества. Система представлена на рисунке 1.

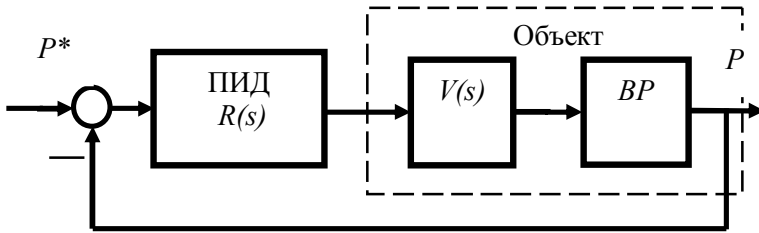


Рисунок 1 – Структура управления с ПИД регулятором напора

Линеаризованный объект и ПИД регулятор описываются передаточными функциями (ПФ) V и R соответственно $V(s) = M_p(s) / N_p(s)$,

$$R(s) = \frac{M_R(s)}{N_R(s)} = \frac{k_I}{s} + k_P + \frac{k_D s}{(s + \gamma)} = \frac{v(c_2 s^2 + c_1 s + c_0)}{s(s + \gamma)}$$

Датчик напора BP считается безынерционным с единичным коэффициентом усиления. Коэффициенты c_i , ($i=0,1,2$) выражаются через коэффициенты k_I, k_P, k_D по формулам

$c_0 = k_I, c_1 = k_P + k_I / \gamma, c_2 = k_D + k_P / \gamma$. Параметр $\gamma = 1 / \tau$ зависит от малой постоянной времени τ дифференцирующего звена. Система имеет характеристический полином $N(s) = N_R(s)N_p(s) + M_R(s)M_p(s)$.

С учетом зависимости напора от расхода для турбомеханизма [1], передаточная функция линеаризованного объекта содержит параметр $c_P = 2M_H / (J\omega_H)$ который зависит от номинального момента M_H электродвигателя и момента инерции J , $v = \omega / \omega_H$ - относительная величина скорости, $a_M = k_e k_M / (R_e J)$ - обратная величина электромеханической постоянной времени, $b_P = b_{P0} v$, где $b_{P0} = 2M_H a_M / (\eta Q_H k_e)$ зависит от производительности Q_H и КПД η турбомеханизма. Полиномы системы имеют вид: $M_R(s) = v(c_2 s^2 + c_1 s + c_0)$, $N_R(s) = s(s + \gamma)$, $M_p(s) = b_P$, $N_p(s) = (s + a_e)(s + c_P v) + a_M = s^2 + a_{P1} s + a_{P0}$, Парамет-

ры объекта b_p , $a_{p1} = a_e + c_p v$ и $a_{p0} = a_e c_p v + a_M$ принадлежат зависящим от v интервалам $b_p \in [\underline{b}_p, \bar{b}_p] = [\underline{v}, \bar{v}] \cdot b_{p0}$, $a_{pi} \in [\underline{a}_{pi}, \bar{a}_{pi}]$, $(i = 0, 1)$. Учитывая обозначения $c'_1 = c_1 / c_2$, $c'_0 = c_0 / c_2$, характеристический полином примет вид $N(s) = s(s + \gamma)(s^2 + a_{p1}s + a_{p0}) + \gamma c_2 \underline{b}_{p0}(s^2 + c'_1 s + c'_0)$.

Если порядок полинома объекта $n_p = 1$ либо $n_p = 2$, выполняются условия М В Меерова [2] устойчивости системы при бесконечном усилении $\gamma c_2 b_{p0} = \infty$, когда полином $M_R(s)$ устойчив. В данном случае $n_p = 2$, и дополнительно должно выполняться условие $\gamma + a_{p1} - c'_1 = \gamma + a_e + c_p v - c'_1 > 0$ для полинома $N(s)$. Следовательно, расчет параметров ПИД регулятора должен производиться исходя из желаемых значений корней вырожденного полинома $(s^2 + c'_1 s + c'_0)$. Учитывая, что $0 < \varepsilon < 0,5$ малая величина, Ω_C - частота среза, для расчета параметров ПИД регулятора по желаемым корням $s_{1,2} = -\alpha$, полинома $N(s)$ применимы выражения

$$\gamma > \varepsilon^{-1} \Omega_C, \quad \gamma + a_e + c_p v > c'_1 = 2\alpha, \quad c'_0 = \alpha^2 \quad (1)$$

Вследствие свойства устойчивости при бесконечном усилении $\gamma c_2 b_{p0} = \infty$ полином становится равен вырожденному $N(s) = (s^2 + c'_1 s + c'_0)$, и таким образом, свойства системы будут полностью определяться параметрами регулятора и не зависеть от параметров объекта.

При конечном, но достаточно большом усилении

$$\gamma c_2 b_{p0} > \varepsilon^{-1} |N_p(s) N_R(s)| / |s_2^2 + c'_1 s + c'_0| \quad (2)$$

свойства системы в основном определяются параметрами регулятора и мало зависят от параметров объекта.

Способ позволяет определить все четыре параметра v, c_0, c_1, c_2 ПИД – регулятора на основании выражений (1), (2) и является приближенным.

Список использованных источников

1. Фираго, Б.И. Регулируемые электроприводы переменного тока. / Б.И. Фираго, Л.Б. Павлячик, – Мн.: ЗАО «Техноперспектива», 2004. – 527 с.
2. Мееров, М.В. Синтез структур систем автоматического регулирования высокой точности / М.В. Мееров М.: Наука, 1967. – 424 с.

Панасенко С.И., преподаватель
УО «Слуцкий государственный колледж», г. Слуцк
ПРИМЕНЕНИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО КОНТУРА
АДАПТИВНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ
ВЛИЯНИЯ НЕСТАБИЛЬНОСТИ ДИНАМИЧЕСКИХ
ПАРАМЕТРОВ ПЕЧИ

Параметры математической модели хлебопекарной печи, характеризующие ее динамические свойства, а именно, коэффициент преобразования $K_{об}$ и постоянная времени $T_{об}$, могут изменять свои значения как вследствие изменения общей теплоемкости всей выпекаемой тестовой массы в процессе выпечки, что обусловлено испарением влаги – упеком, изменением теплоемкости при образовании корки и т.д. Таким образом, имеет место параметрическая неопределенность объекта управления, которая может негативно сказываться на качестве стабилизации температуры воздуха внутри печи. Для компенсации влияния указанной параметрической неопределенности система автоматического регулирования температуры должна быть адаптивной, т.е. обеспечивать автоматическую подстройку регулятора по отклонению в ходе работы (рисунок 1).

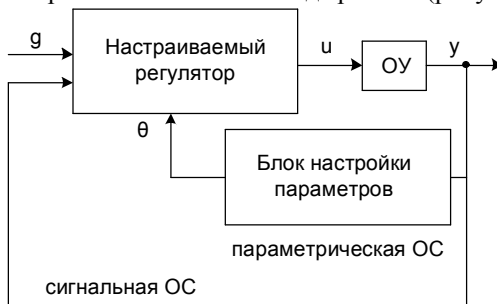


Рисунок 1 – Схема адаптивной замкнутой системы регулирования

По принципу действия алгоритма блока настройки адаптивные системы разделяют на два типа [1]:

- идентификационные адаптивные системы (системы с косвенной адаптацией);
- безидентификационные адаптивные системы (системы с прямой адаптацией).

Системы с прямой адаптацией считаются более совершенными по сравнению с системами с косвенной адаптацией [1,2,3]. Выделяют два вида систем с прямой адаптацией:

- системы с эталонной моделью;
- системы экстремального регулирования.

В системах с эталонной моделью (рисунок 2) цель управления задается с помощью эталонного (модельного) значения регулируемой переменной $y_M(t)$. Для выработки эталонного значения регулируемой переменной $y_M(t)$, как правило, используется специальный динамический блок – эталонная модель (ЭМ). Наиболее часто эталонная модель формируется в виде линейной системы, формирующей желаемый отклик на задающее воздействие $g(t)$. Настраиваемый регулятор строится таким образом, чтобы при соответствии его коэффициентов параметрам объекта управления его замкнутая система вела себя точно так же, как эталонная модель. Тогда информацию о параметрических рассогласованиях в системе будет нести ошибка слежения за эталонной моделью $\varepsilon = y - y_M$. При этом в качестве цели работы алгоритма адаптации естественно принять минимизацию ошибки ε . Таким образом, происходит объединение самого регулятора и алгоритма его адаптации единой целью – минимизацией ошибки слежения за эталонной моделью.

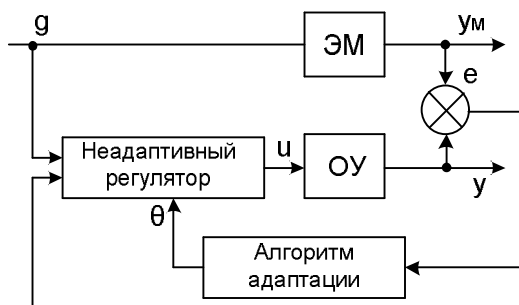


Рисунок 2 – Система адаптивного управления с эталонной моделью

В данной работе предлагается модифицировать систему управления температурой в печи на основе принципа адаптивного управления с прямой адаптацией с эталонной моделью. Функциональная схема предлагаемой адаптивной САР температуры воздуха в печи приведена на рисунке 3.

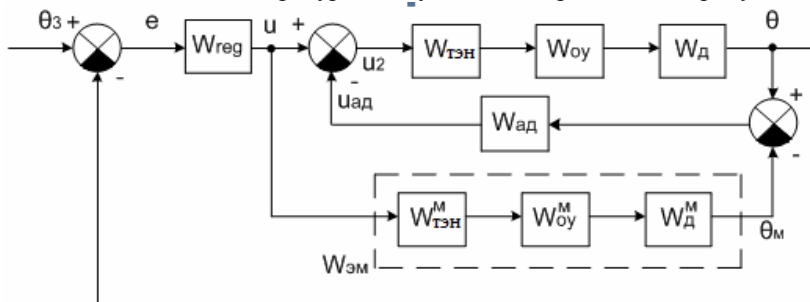


Рисунок 3 – Функциональная схема предлагаемой адаптивной САР температуры воздуха в печи

Список использованных источников

1. Ощепков А.Ю. Системы автоматического управления: теория, применение, моделирование в MATLAB: Учебное пособие. – 2-е изд., испр. и доп. – СПб.: Издательство «Лань», 2013. – 208 с.: ил. – (Учебники для вузов. Специальная литература).
2. Мирошник, И.В. Теория автоматического управления. Линейные системы. – СПб.: Питер, 2005. – 306 с.
3. Никифоров, В.О. Управление в условиях неопределенности: чувствительность, адаптация, робастность / В.О. Никифоров, А.В. Ушаков. – СПб.: СПб ГИТМО (ТУ), 2002. – 232 с.

Полищук Е.И., Якубовская Е.С.

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь

АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ КОТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКОЙ КАК СПОСОБ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

Тепловая энергия в общем потреблении сельского хозяйства составляет 60-80% [1, с. 506]. Теплоснабжение сельского хозяйства осуществляется в основном от огневых котельных и отдельных котлов низкого давления. Основным технологическим показателем эффективности использования топлива является коэффициент полезного действия агрегата. Одна из причин низкого эксплуатационного КПД промышленных установок – это потери тепла при сгорании топлива, вызванные несоблюдением оптимального соотношения между расходом топлива и воздуха.

Автоматическое регулирование процессов горения предусматривается для всех котлов, работающих на жидком или газообразном топливе.

Около 60% электроэнергии собственных нужд котельных потребляют тягодутьевые машины - вентиляторы и дымососы. При применении на котлах нерегулируемого асинхронного электропривода, регулирование расхода воздуха и разрежения в топке осуществляется изменением положения заслонок направляющих аппаратов с центрального пульта, а контроль технологических параметров работы котла - с помощью регистрирующих вторичных приборов. При таком способе регулирования потоков воздуха и отходящих газов (дыма) потери на дросселирование достигают 70%. Кроме этого, при эксплуатации котлов в связи с изменением параметров воздухопроводов и дымоходов, топок котлов и свойств топлива, устанавливаемые по наладочным технологическим картам режимы отличаются от оптимальных, что вызывает перерасход топлива.

Для повышения эффективности функционирования котельных можно предложить применение для управления ими современных систем управления с включением в контуры регулирования преобразователей частоты. Важнейшими элементами таких систем являются подсистемы оптимального управления тягодутьевыми трактами водогрейных котлов, позволяющие существенно (на 30-40%) снизить потребление электрической энергии асинхронными двигателями вентиляторов и дымососов, а так же обеспечить рациональный расход топлива при полном его сжигании.

Система автоматического управления тягодутьевым трактом котла представлена на рис. 1. Она включает в свой состав датчики расходов FT воздуха, топлива и отходящих газов, датчик разряжения в топке PT , датчик содержания кислорода OT в отходящих газах, преобразователи частоты $ПЧ$ для управления скоростью электродвигателей M вентилятора и дымососа, программируемый логический контроллер котла $ПЛК$, реализующий алгоритм локального управления трактом, и персональный компьютер $ПК$ ($АРМ$ оператора), выполняющий функции интерфейса «человек-машина».

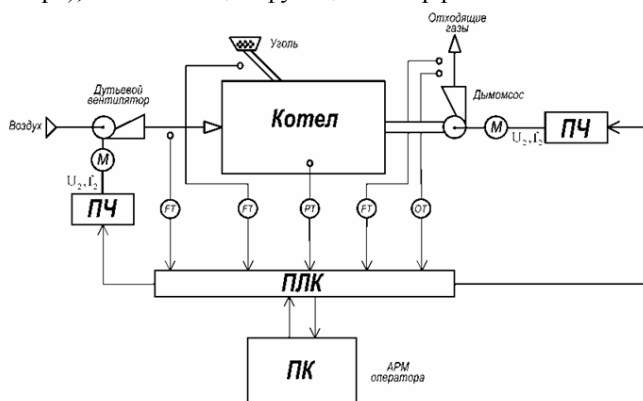


Рисунок 1 – Схема САУ тягодутьевым трактом котла

Основным назначением тягодутьевых механизмов и водогрейных котлов является поддержание оптимального режима горения в топке котла. Под понятием оптимального режима здесь подразумевается поддержание оптимального соотношения «топливо-воздух» и создание наиболее благоприятных условий для полного сгорания топлива. Для выполнения этого условия необходимо с одной стороны подать нужное количество воздуха в топку - с другой с заданной интенсивностью извлекать из неё продукты горения.

Применение преобразователей частоты для управления вентилятора подачи воздуха в топку, а так же вентилятора дымососа позволяет не только эффективно решать эту задачу, но и автоматизировать этот процесс наиболее полно и эффективно.

Как правило, система регулирования дымососа должна поддерживать заданную величину разряжения в топке котла независимо от производительности котлоагрегата.

Подача топлива в топку котла для сохранения баланса между подводом тепла и отводом его выполняет существующая система управления производительностью котлоагрегата, регулирующая подачу топлива. С его увеличением увеличивается подача воздуха в топку котла и электропривод дымососа должен увеличить отсасывающий объём продуктов горения. Таким образом, связь между системами регулирования вентилятора и дымососа осуществляется через топку котла.

Энергосбережение в процессе эксплуатации котельных установок может быть обеспечено с помощью системы автоматического регулирования, обеспечивающей оптимальные режимы работы установки. Следует обеспечить полноту сгорания топлива за счет управления тягодутьевым трактом котла. Этого можно достичь, при реализации системы автоматики на базе современного контроллера, который позволяет обеспечить точность регулирования параметров (при условии использования преобразователей частоты для регулируемого электропривода), более удобное отображение информации о ходе технологического процесса, удаленное информирование об аварийном состоянии параметров и надежность работы установки.

Список использованных источников

1. Фурсенко, С.Н. Автоматизация технологических процессов: учеб. пособие / С.Н. Фурсенко, Е.С. Якубовская, Е.С. Волкова. – Минск: Новое знание ; М.: ИНФРА-М, 2015. – 376 с.

Рудаков А.С., Молодечкина Т.В., к.т.н., доцент
Полоцкий государственный университет, г. Новополоцк
**АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА КОНТРОЛЯ ЗА СОДЕРЖАНИЕМ
ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ БИОМАСС**

Одним из перспективных и развивающихся направлений получения электрической энергии в Беларуси является переработка биомасс. При этом могут быть получены определенные виды топлива: газообразный метан, жидкий метанол, этанол, биодизель и добавки для риформинга бензинов.

Производство вышеперечисленных продуктов сопровождается выделением большого количества опасных веществ: легковоспламеняющихся, токсичных и кислородосодержащих газов, поэтому требуется постоянный мониторинг ситуации. Поскольку существует вероятность, что в ходе нарушения технологии производства, производственных аварий могут слу-

чаться утечки газов, что представляет потенциальную опасность для промышленного предприятия, экологии, персонала. Применение систем обнаружения газов позволяет существенно снизить риски и повысит безопасность производства

Подобные системы, в состав которых входят детекторы газов (газоанализаторы), микроконтроллеры, устройства оповещения и исполнительные устройства, выполняют функции раннего предупреждения о развитии опасной ситуации. В результате использования таких систем обнаружения газов существует возможность локализовать развитие опасных ситуаций на ранних стадиях, увеличивается период времени для принятия персоналом соответствующих защитных мер и действий по устранению аварийных ситуаций.

Предлагаемая нами электрическая принципиальная схема системы контроля и обнаружения газов приведена на рисунке 1.

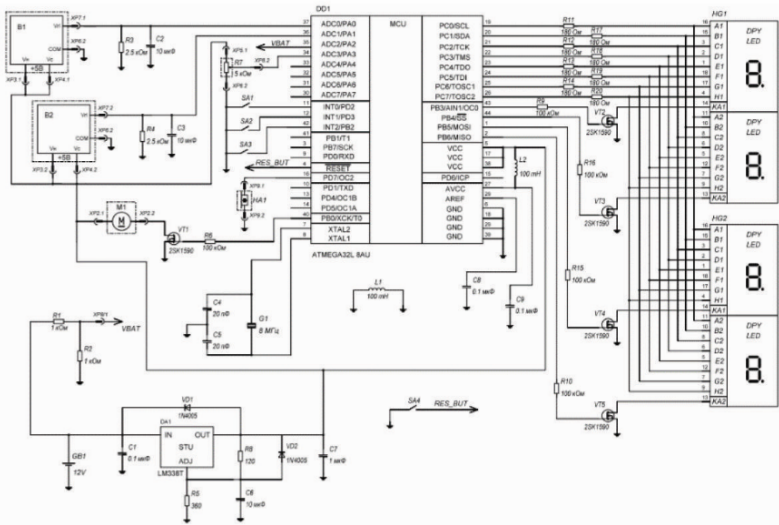


Рисунок 1 - Принципиальная электрическая схема газоанализатора

Питание схемы осуществляется от 12В. После подачи питания начинается прогрев датчиков B1 и B2 в течение одной минуты, на светодиодных индикаторах HG1 и HG2 выводится анимация. Отображение символов и чисел на индикаторах реализовано методом динамической индикации, что позволяет минимизировать количество соединительных проводов между цифровым устройством и индикатором, а также уменьшить число задействованных выводов микроконтроллера.

Всеми процессами управления, индикацией и преобразованиями аналоговых сигналов с датчиков управляет микроконтроллер АТМЕГА32L – 8bit. Программа работы устройства реализовывалась в среде разработки приложений для 8- и 32-битных микроконтроллеров семейства AVR –Atmel Studio на языке программирования Си и далее проходила отладку в виртуально собранном устройстве при помощи пакета программ для автоматизированного проектирования электронных схем Proteus Design Suite.

Список использованных источников

1. Гринчук, А.П. Разработка газовых сенсоров для контроля горючих газов / А.П. Гринчук, И.А. Таратын, В.В. Хатько // Приборы и методы измерений. - 2010. - №1. - С.51-55.
2. Молодечкина Т.В., Васюков А.В, Таратын И.А., Молодечкин М.О. Легированные оксиды титана как основа для формирования чувствительных элементов газовых сенсоров // Вестник ПГУ. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. – 2011. – Т. 1, № 3. – С. 81 – 87.
3. Лейте В. Определение загрязнений воздуха в атмосфере / под ред. П.А. Коузова, В.А. Симонова. Л.: Химия, 1980.
4. Автоматизированные системы экологического мониторинга атмосферы промышленно развитых территорий / А.В. Бизикин [и др.]. Тула: Изд-во ТулГУ, 2006, 218 с.

**Сагындикова А.Ж. ассоциированный профессор, доктор PhD,
Бижанов Е.А. магистрант**

Алматинский университет энергетики и связи, г.Алматы
**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ
ДИАГНОСТИКИ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО
ОБОРУДОВАНИЯ**

Аннотация: Многообразие вариантов реализации различных систем технической диагностики технологического оборудования по состоянию порождает целый класс нетривиальных научных задач, решение которых является необходимым. Представлена разработанная структура системы технической диагностики с различными методами диагностирования.

Ключевые слова: диагностика состояния, диагностические признаки; объект диагностирования; планово-предупредительные ремонты; система технической диагностики.

Введение

На первом этапе развития топливно-энергетического комплекса обеспечение эксплуатационной надежности или исправного технического со-

стояния осуществляется «до отказа». Во второй половине прошлого столетия возникло, и успешно применяется до настоящего времени, другое направление обеспечения эксплуатационной надежности оборудования «по системе планово- предупредительных ремонтов» (ППР). Однако стратегия ППР имеет существенный недостаток, заключающийся в том, что она требует высоких затрат на проведение ремонтных работ.

Сегодня, в условиях рыночной экономики, становится очевидным, что необходимо переходить к более прогрессивной стратегии обеспечения эксплуатационной надежности комплекса «по его фактическому состоянию». Переход к этой стратегии вызывает необходимость обязательного создания систем технической диагностики и информационных диагностических сетей.

Вместе с тем, необходимо отметить, что проблемы создания системы технической диагностики (СТД) в научном плане изучены достаточно слабо. Хотя средства автоматизации контроля технического состояния оборудования появились достаточно давно, теоретическая база объективного анализа и эффективного синтеза СТД все еще недостаточна. Применение систем оценки по его фактическому состоянию позволяет повысить эффективность производства за счет снижения времени простоев оборудования в ремонте, снизить себестоимость продукции за счет снижения затрат на ремонты и послеаварийное восстановление оборудования (таблица1).

Таблица 1. Практическая значимость применения технической диагностики

Затраты	Экономия
Предварительные исследования, выбор точек мониторинга, определение предельных значений.	Увеличение среднего времени между ремонтами (рост производительности и снижение затрат на техническое обслуживание).
Создание единой базы отказов оборудования.	Фактическое устранение непредвиденных отказов (повышение надежности и производительности).
Разработка автоматизированной системы технической диагностики.	Устранение излишнего расхода деталей (замена исправных деталей). Уменьшение объема запасных частей. Повышение безопасности (снижение вероятности непредвиденных отказов). Повышение производительности производственных процессов

Кроме того, совмещение СТД со стратегией ППР позволяет перейти к стратегии управления техническим состоянием контролируемого оборудования по фактическому состоянию.

Разработка систем технической диагностики.

При создании СТД необходимо решить вопросы по повышению надежности и оптимизации режима работы оборудования. Объекты контро-

ля, которые с точки зрения надежности, имеют слабые узлы необходимо модернизировать или заменить, как и объекты, которые работают в неустойчивом диапазоне. Одним из важных этапов разработки СТД являются работы по определению диагностических признаков, объем и информативность которых должны учитывать особенности принятых на стадии проектирования конструкторских и технологических решений, качество изготовления и монтажа, опыт эксплуатации объектов-прототипов и особенности условий эксплуатации объектов диагностики.

Диагностический признак (ДП) – это признак объекта диагностирования, используемый в установленном порядке для определения состояния объекта. Для каждого типа системы определенного вида можно указать множество признаков, характеризующих ее состояние. Большинство ДП по своему назначению могут являться одновременно диагностическими и признаками функционального использования. Именно эти признаки чаще всего поддаются непосредственному измерению, и для них проще всего установить нормы и допуски, выход за пределы которых характеризует отказ или дефект в функционировании системы.

По мере сбора статистических данных перечень ДП должен уточнять и совершенствовать решающие правила распознавания дефектов [1]. Следовательно, СТД должна являться обязательной составляющей в процессе эксплуатации оборудования. Обеспечение непрерывного эксплуатационного контроля оборудования, а также их вспомогательных систем является основой надежной работы технологического оборудования. Основными задачами создания СТД являются:

- повышение качества принятых решений;
- фиксация превышения параметром установленного значения с выдачей соответствующего сигнала или команды;
- графическое отображение текущих параметров во времени;
- обоснование рекомендаций по устранению отклонений;
- определение причин возникновения ситуаций с выдачей ошибки;
- определение степени износа оборудования по данным измерений ряда косвенных параметров.

Одной из важных особенностей технической диагностики является распознавание неисправностей в условиях ограниченной информации, когда требуется руководствоваться определенными приемами и правилами для принятия обоснованного решения. Состояние системы описывается совокупностью определяющих ее признаков (параметров). Разумеется, множество определяющих признаков может быть различным, в первую очередь, в связи с самой задачей распознавания. Распознавание состояния системы – отнесение к одному из возможных диагнозов (классов). Число диагнозов зависит от особенностей задачи и целей исследования. В большинстве задач технической диагностики диагнозы устанавливаются зара-

нее, и в этих условиях задачу распознавания часто называют задачей классификации. Совокупность последовательных действий в процессе распознавания называется алгоритмом распознавания. Существенной частью процесса распознавания является выбор ДП, описывающих состояние системы. Они должны быть достаточно информативны, чтобы при выбранном числе диагнозов процесс распознавания мог быть осуществлен.

В задачах диагностики состояние системы часто описывается с помощью комплекса признаков

$$K = (k_1, k_2, \dots, k_j, \dots, k_v), \quad (1)$$

где k_j – признак, относящийся к m_j состоянию.

Во многих алгоритмах распознавания удобно характеризовать систему признаками x_j , образующими v -мерный вектор или точку в v -мерном пространстве

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_v). \quad (2)$$

В большинстве случаев признаки x_j имеют непрерывное распределение. В данном случае с помощью признака k_j получается дискретное описание, тогда как признак x_j дает непрерывное описание. При непрерывном описании требуется значительно больший объем предварительной информации, но описание получается более точным. Если известны статистические законы распределения признака, то необходимый объем предварительной информации сокращается.

Существуют два основных подхода к задаче распознавания: вероятностный и детерминированный. Постановка задачи при вероятностных методах распознавания формулируется следующим образом. Имеется система, которая находится в одном из случайных состояний D_i . Известна совокупность признаков, каждый из которых с определенной вероятностью характеризует состояние системы. Требуется построить решающее правило, с помощью которого предъявленная (диагностируемая) совокупность признаков была бы отнесена к одному из возможных состояний (диагнозов). Желательно также оценить достоверность принятого решения и степень риска ошибочного решения.

Таким образом, задача сводится к разделению пространства признаков на области диагнозов [2]. Вероятностный и детерминированный подходы не имеют принципиальных различий. Более общими являются вероятностные методы, но они часто требуют и значительно большего объема предварительной информации. Детерминированные подходы более кратко описывают существенные стороны процесса распознавания, меньше зависят от избыточной, малоценной информации, больше соответствуют логике мышления человека [3].

Выводы

Для диагностирования состояния функционирования по фактическому состоянию необходимо:

– разработать и в дальнейшем сравнить модели диагностирования;

– создать базы данных по учету статистики проведения диагностирования и результатов измерения параметров оборудования.

Кроме выполнения учетных функций, подобная система может обеспечить прогнозирование технического состояния оборудования. При реализации прогнозирования состояния функционирования оборудования в эксплуатации возможен переход от системы технического обслуживания по наработке (пробегу, времени) к обслуживанию по реальному техническому состоянию. Такой переход может дать значительный экономический эффект за счет ликвидации ненужных ремонтных работ и формирования объема технического обслуживания индивидуально по результатам диагностического обследования.

Список использованных источников

1. Андрейчиков, А.В. Интеллектуальные информационные системы /А.В. Андрейчиков, О.Н. Андрейчикова. – М. : Финансы и статистика, 2006. – 424 с.
2. Аралбаев, Т.З. Построение адаптивных систем мониторинга и диагностирования сложных промышленных объектов на основе принципов самоорганизации / Т.З. Аралбаев. – Уфа : Гилем, 2003. – 238 с.
3. Байхельт, Ф. Надежность и техническое обслуживание. Математический подход : пер с нем. / Ф. Байхельт, П. Франкен. – М. : Радио и связь, 1988. – 92 с.

Сеньков А.Г., к.т.н., доцент; Гируцкий И.И., д.т.н., доцент
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь

ЧИСЛЕННАЯ МОДЕЛЬ НЕСТАЦИОНАРНОГО ПРОЦЕССА ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ЧЕРЕЗ МНОГОСЛОЙНУЮ СТЕНУ

Регулирование режима выпечки хлебобулочных изделий в хлебопекарных печах любых конструкций осуществляется соответствующим изменением температуры и продолжительности выпечки. В данном случае одним из основных обстоятельств, влияющих на динамику тепловых процессов в печи, является рассеяние тепла изнутри печи наружу через ее стены. Использование точного математического описания данного процесса на основе дифференциальных уравнений теплопроводности затруднительно в реальных системах автоматического управления температурой. Поэтому в данной работе для «идеального» случая плоской трехслойной стены предложена численная математическая модель динамики изменения температуры. Это позволит в дальнейшем исследовать особенности тепловых процессов в реальных хлебопекарных печах.

Рассмотрим плоскую трехслойную стену, состоящую из двух внешних слоев нержавеющей стали толщиной $\delta_1 = \delta_3 = 1^{-3}$ м и внутреннего слоя

минерального теплоизолирующего материала толщиной $\delta_2 = 0.1$ м (см. рис. 1).

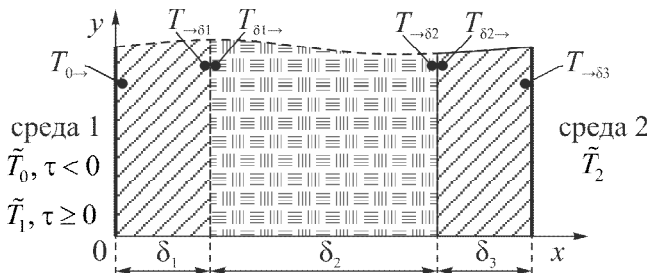


Рисунок 1 – Постановка задачи исследования динамики изменения температуры плоской стены

Коэффициенты теплопроводности слоев стены $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ [Вт/(м·К)] считаем постоянными. При учете теплопередачи излучением коэффициент излучения обеих наружных поверхностей стены считаем равным $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0.25$.

Стационарный перенос тепла через стену описывается системой уравнений [1]:

$$\begin{aligned}
 \alpha_1 (\tilde{T}_0 - T_{0 \rightarrow}) + \varepsilon_1 \sigma (\tilde{T}_0^4 - T_{0 \rightarrow}^4) &= \lambda_1 / \delta_1 \cdot (T_{0 \rightarrow} - T_{\rightarrow \delta_1}); \\
 \lambda_1 / \delta_1 \cdot (T_{0 \rightarrow} - T_{\rightarrow \delta_1}) &= \alpha_{1,2} (T_{\rightarrow \delta_1} - T_{\delta_1 \rightarrow}); \\
 \alpha_{1,2} (T_{\rightarrow \delta_1} - T_{\delta_1 \rightarrow}) &= \lambda_2 / \delta_2 \cdot (T_{\delta_1 \rightarrow} - T_{\rightarrow \delta_2}); \\
 \lambda_2 / \delta_2 \cdot (T_{\delta_1 \rightarrow} - T_{\rightarrow \delta_2}) &= \alpha_{2,3} (T_{\rightarrow \delta_2} - T_{\delta_2 \rightarrow}); \\
 \alpha_{2,3} (T_{\rightarrow \delta_2} - T_{\delta_2 \rightarrow}) &= \lambda_3 / \delta_3 \cdot (T_{\delta_2 \rightarrow} - T_{\rightarrow \delta_3}); \\
 \lambda_3 / \delta_3 \cdot (T_{\delta_2 \rightarrow} - T_{\rightarrow \delta_3}) &= \alpha_3 (T_{\rightarrow \delta_3} - \tilde{T}_2) + \varepsilon_3 \sigma (T_{\rightarrow \delta_3}^4 - \tilde{T}_2^4).
 \end{aligned} \tag{1}$$

где $\alpha_1, \alpha_{1,2}, \alpha_{2,3}, \alpha_3$ – коэффициенты теплопередачи на границах слоев, Вт/(м²·К);

$\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м²·К⁴) – постоянная Стефана-Больцмана [1].

В некоторый начальный момент времени температура воздуха с одной стороны стены изменяется от значения $\tilde{T}_0 = 20$ °С до $\tilde{T}_1 = 120$ °С. В этом случае система дифференциальных уравнений теплопроводности, описывающая пространственную динамику изменения температуры стены $T(x, \tau)$ будет иметь вид:

$$\begin{aligned}
& \partial T / \partial \tau = a(x) \cdot \partial^2 T / \partial x^2; \\
& T(x) \Big|_{\tau=0} = T_x^0; \\
& -\lambda_1 \partial T / \partial x \Big|_{x=0} = \alpha_1 (\tilde{T}_1 - T_{0 \rightarrow}) + \varepsilon_1 \sigma \left(\tilde{T}_1^4 - T_{0 \rightarrow}^4 \Big|_{0 \rightarrow} \right); \\
& -\lambda_1 \partial T / \partial x \Big|_{x=\delta_1-0} = \alpha_{1,2} (T_{\rightarrow \delta_1} - T_{\delta_1 \rightarrow}); \\
& -\lambda_2 \partial T / \partial x \Big|_{x=\delta_1+0} = \alpha_{1,2} (T_{\rightarrow \delta_1} - T_{\delta_1 \rightarrow}); \\
& -\lambda_2 \partial T / \partial x \Big|_{x=\delta_2-0} = \alpha_{2,3} (T_{\rightarrow \delta_2} - T_{\delta_2 \rightarrow}); \\
& -\lambda_3 \partial T / \partial x \Big|_{x=\delta_2+0} = \alpha_{2,3} (T_{\rightarrow \delta_2} - T_{\delta_2 \rightarrow}); \\
& -\lambda_3 \partial T / \partial x \Big|_{x=\delta_3} = \alpha_3 (T_{\rightarrow \delta_3} - T_2) + \varepsilon_3 \sigma (T_{\rightarrow \delta_3}^4 - T_2^4),
\end{aligned} \tag{2}$$

где $a(x)$ – коэффициенты теплопроводности материалов соответствующих слоев стены, м²/с.

Система (2) представляет собой систему нелинейных неоднородных дифференциальных уравнений в частных производных. Численное решение данной системы выполнено в среде Matlab на равномерной прямоугольной сетке с использованием абсолютно сходящейся неявной разностной схемы [0] (см. рис. 2).

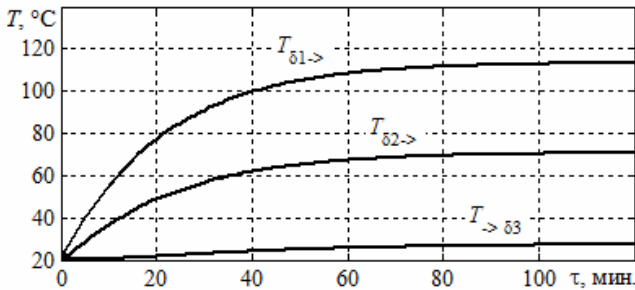


Рисунок 2 – Результаты численного моделирования

Предложенная численная математическая модель позволяет исследовать пространственную динамику изменения температуры стены $T(x, \tau)$ при различных температурных режимах хлебопекарных печей.

Список использованных источников

1. Цветков Ф.Ф. Тепломассообмен: учебник для вузов / Ф.Ф. Цветков, Б.А. Григорьев. – М.: Издательский дом МЭИ, 2011. – 562 с., ил.

Сеньков А.Г., к.т.н., доцент; Матвейчук Н.М., к.ф.-м.н.
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЛОСКОЙ СТЕНЫ ПРИ НЕСТАЦИОНАРНОМ ТЕПЛОВОМ ПРОЦЕССЕ

При разработке систем автоматического управления теплообменными агрегатами (в сельскохозяйственной отрасли – это хлебопекарные печи, пастеризаторы молока и др.), при исследовании происходящих в этих объектах нестационарных тепловых процессов необходимо учитывать динамику процесса переноса тепла из внутреннего объема данных объектов наружу через стены. Такие задачи возникают при управлении температурными режимами выпечки хлебобулочных изделий, пастеризации молока, когда необходимо выдержать во времени требуемый температурный режим. Математические методы описания этих процессов связаны с решением уравнений в частных производных, что неудобно для проектирования систем управления. Поэтому в данной работе на основе общеизвестных теоретических методов описания процесса теплопереноса получена численная математическая модель динамики изменения температуры плоской стены. Использование предлагаемой модели в дальнейшем послужит базой для исследования возможностей приближенного описания динамики теплопереноса с использованием параметрических методов идентификации и нейронных сетей с последующим синтезом соответствующих систем автоматического управления температурными режимами.

В качестве начальных условий имеем стационарный процесс переноса теплоты через плоскую стену. Толщина стены δ [м] много меньше ширины b [м] и высоты h [м]. Источники теплоты в самой стене отсутствуют ($q_v = 0$). Коэффициент теплопроводности стены λ [Вт/(м·К)] считаем постоянным. При учете теплопередачи излучение коэффициент излучения обеих поверхностей стены считаем равным $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0.5$. Теплообмен излучением необходимо учитывать при передаче теплового потока от окружающей среды 1 – стенке и от стенки – окружающей среде 2 (см. рис. 1). Конвективным переносом тепла в прилегающих к стене слоях воздуха пренебрегаем.

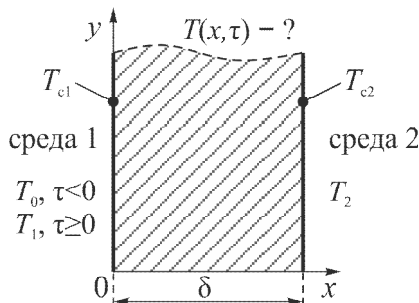


Рисунок 1 – Постановка задачи исследования динамики изменения температуры плоской стены

Для стационарного режима теплопередачи через стену с учетом закона Ньютона-Рихмана [1] получается следующая система уравнений с неизвестными значениями T_{c1} , T_{c2} температуры поверхностей 1 и 2 стены:

$$\begin{cases} \frac{\lambda}{\delta}(T_{c1} - T_{c2}) = \alpha_1(T_0 - T_{c1}) + \varepsilon_1\sigma(T_0^4 - T_{c1}^4), \\ \frac{\lambda}{\delta}(T_{c1} - T_{c2}) = \alpha_2(T_{c2} - T_2) + \varepsilon_2\sigma(T_{c2}^4 - T_2^4), \end{cases} \quad (3)$$

где T_0 , T_2 – температура, соответственно, среды 1 и 2, К;

α_1 , α_2 – коэффициенты теплопередачи, соответственно от среды 1 к стене и от стены к среде 2, Вт/(м²·К);

$\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м²·К⁴) – постоянная Стефана-Больцмана [1].

В момент времени, принимаемый за начальный, температура воздуха с одной стороны стены скачкообразно изменяется от значения T_0 до значения T_1 . Требуется найти температуру внутри стены как функцию координаты x и времени τ . В этом случае дифференциальное уравнение теплопроводности, начальное и граничное условия записываются в следующем виде:

$$\begin{aligned} \partial T / \partial \tau &= a \cdot \partial^2 T / \partial x^2; \\ T(x) \Big|_{\tau=0} &= T_{c1} + (T_{c2} - T_{c1}) \cdot x / \delta; \\ -\lambda \cdot \partial T / \partial x \Big|_{x=0} &= \alpha_1(T_1 - T|_{x=0}) + \varepsilon_1\sigma(T_1^4 - T^4|_{x=0}), \tau > 0; \\ -\lambda \cdot \partial T / \partial x \Big|_{x=\delta} &= \alpha_2(T|_{x=\delta} - T_2) + \varepsilon_2\sigma(T^4|_{x=\delta} - T_2^4), \tau > 0, \end{aligned} \quad (4)$$

где a – коэффициент температуропроводности материала стены, м²/с.

Система (2) представляет собой систему нелинейных неоднородных дифференциальных уравнений в частных производных с постоянными коэффициентами. Численное решение данной системы на равномерной прямоугольной сетке с использованием абсолютно сходящейся неявной разностной схемы [0] позволяет найти распределение температуры по толщине стены (вдоль оси Ox , см. рис. 2а) и его изменение во времени (см. рис. 2б). Численное решение было реализовано в среде Matlab [2].

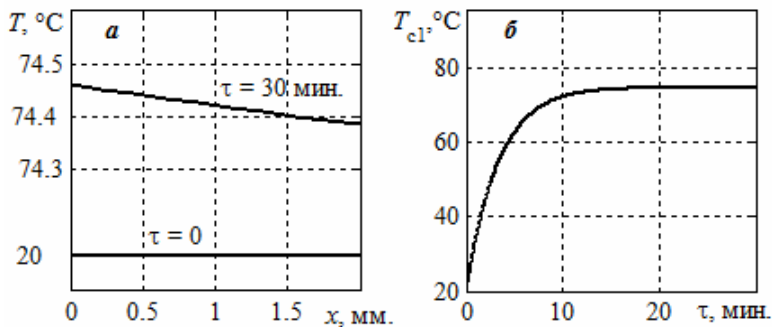


Рисунок 2 – Результаты численного моделирования изменения температуры стены толщиной 2 мм из нержавеющей стали

Как видно из рис. 2б, динамика нагрева стены при ступенчатом изменении температуры среды 1 приближенно соответствует аperiodическому звену.

Список использованных источников

1. Цветков Ф.Ф. Тепломассообмен: учебник для вузов / Ф.Ф. Цветков, Б.А. Григорьев. – М.: Издательский дом МЭИ, 2011. – 562 с., ил.
2. Дьяконов В.П. MATLAB. Полный самоучитель. – М.: ДМК Пресс, 2012. – 768 с.: ил.

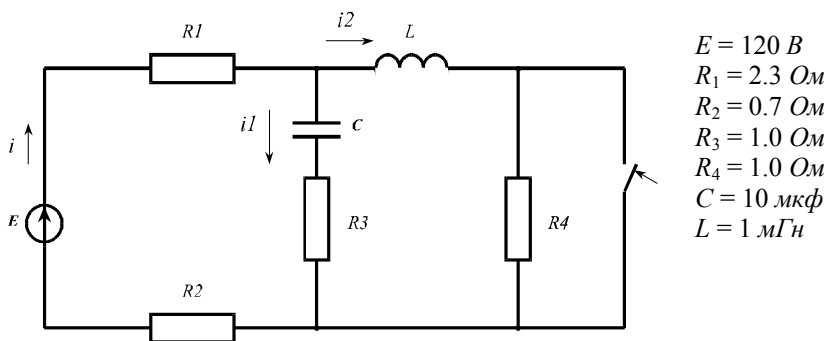
Станишевский И.В., к.ф.-м.н., доцент
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь
ОПРЕДЕЛЕНИЕ RLC-ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ
СИМПЛЕКС-МЕТОДОМ НЕЛДЕРА-МИДА

При решении многих научных проблем, в том числе технических, приходится сталкиваться с решением обратной задачи: нахождением коэффициентов и/или параметров уравнений точной или приближенной модели, описывающих реальную систему, по известным (например, экспериментально измеренным) значениям величин моделирующих

функций. Примером может быть задача определения неизвестных величин (номиналов компонент) сопротивлений, емкостей и индуктивностей электрических цепей, принципиальная схема которых известна, по известным законам изменения напряжений и токов в некоторых точках схемы, возникающих при коммутации источников питания. Проблема может быть сформулирована и в следующем виде: имеется электрическая цепь, принципиальная схема которой известна. Необходимо определить номиналы RCL -элементов и напряжение источника E , значения которых не могут быть измерены, но могут быть измерены напряжения и токи в определенных точках цепи. Во многих случаях для её решения необходима именно коммутация цепей схемы, поскольку возникающие при переходных процессах изменения токов и напряжений имеют специфические немонотонности, параметры которых определяются номиналами элементов схемы.

Примером такой проблемы может задача из методического пособия «Основы научных исследований и моделирование» кафедры вычислительной техники БГАТУ, изданного в 2007 году. Схема цепи изображена на рисунке, представленном ниже.

Закон изменения токов $i_1(t)$ и $i_2(t)$ после замыкания ключа, с учетом того, что $i_1(0) = 0$, $i_2(0) = E/(R_1 + R_2 + R_4)$, может быть найден из численного решения системы дифференциальных уравнений (СДУ), записанных для этих токов:



$$di_1/dt = -((R_1 + R_2)(di_2/dt) + i_1/C) / (R_1 + R_2 + R_3)$$

$$di_2/dt = (E - (R_1 + R_2)(i_1 + i_2)) / L$$

Зная $i_1(t)$, можно определить закон изменения напряжения $U_C(t)$ на конденсаторе C . Значения $i_1(t)$, $i_2(t)$, и $U_C(t)$ можно измерить также экспериментально.

Для определения шести номиналов RCL -элементов (сопротивления R_1 и R_2 определяются только как сумма $R_1 + R_2$) был применен симплекс-метод оптимизации Нелдера-Мида [1]. Выбор безградиентного метода был вызван как трудностями применения других подходов и методов, так и интересом возможности его применения для данной частной задачи. Целевая функция (ЦФ) для минимизации была выбрана в виде суммы норм разности «измеренных» и оптимизируемых (расчетных) значений токов $i_1(t)$, $i_2(t)$ и напряжения $U_C(t)$ с весовыми коэффициентами в узловых временных точках. «Измеренные» значения предварительно были синтезированы из численных решений СДУ при использовании «истинных» значений номиналов элементов (приведены на рисунке выше). Блок-схема алгоритма представлена на рисунке, изображенном ниже.

Расчеты проводились с помощью программ, написанных на языке высокого уровня *Scilab* (свободно распространяемом аналоге *Matlab*). Минимизация ЦФ осуществлялась с помощью процедур: 1) *neldermead_new*, встроенной в пакет *Scilab*, методом Бокса с ограничением диапазона изменений значений определяемых параметров, и 2) *anms* [2], адаптированной с языка *Matlab* для *Scilab*. Процедура *anms* (adaptive nelder-mead simplex) представляла собой вариант алгоритма Нелдера-Мида с адаптацией (изменением) значений коэффициентов α (отражение), β (расширение), γ (сжатие) и δ (сужение) под количество искоемых параметров.



Использование *anms* ускорило время поиска решения приблизительно в 2 раза, что, скорее всего, связано как с отсутствием ограничений на изменение варьируемых параметров, так и с более оптимальными значениями

ми коэффициентов. Времена определения «истинных» значений E , R_1+R_2 , R_3 , R_4 , C и L при начальных значениях 100 В, 1.0 Ом, 3.0 Ом, 3.0 Ом, 100 мкФ, 10 мГн, соответственно, при использовании подпрограммы решения СДУ типа *stiff* на компьютере класса *Intel i3* с частотой процессора около 3 ГГц типично составляли около 120–160 с. Погрешность определения параметров составляла около $1.0E-6$, что значило, что задача была решена точно. Она увеличивалась до $1.0E-4$ в том случае, когда данные «измерений» имели 4 значащих цифры. Такие расчеты имитировали случай измерений токов и напряжений реальными серийными приборами. Следует особо отметить, что для надежного нахождения точных значений элементов оказалось необходимым, чтобы ЦФ учитывала данные всех трех «измерений» с индивидуальными весовыми коэффициентами (например, единичными) w_i для каждого из них: токов i_1 , i_2 и напряжения U_C на конденсаторе. При использовании только одного «измерения», например, U_C , ЦФ, как правило, достигала только локального минимума, при котором значения искомых параметров, как правило, весьма значительно отличались от «истинных». В случаях, когда начальные значения параметров выбирались значительно отличающимися от «истинных», время расчетов ожидаемо увеличивалось. Кроме того, приходилось производить новый поиск с начальными значениями параметров, определенными в предыдущем расчете.

Список использованных источников

1. Nelder, J.A. A simplex method for function minimization / J.A. Nelder, R. Mead // *Comput. J.* – 1965. – V 7. – С. 308–313.
2. Gao, F. Implementing the Nelder-Mead simplex algorithm with adaptive parameters / F. Gao, L. Han // *Comput. Optim. Appl.* – 2012. – V 51. – P. 259–277.

Тарновский В.Ю., Глобач Д.В., Якубовская Е.С.
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь
ПУТИ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ПРИ АВТОМАТИЗАЦИИ
УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ТВОРОГОИЗГОТОВЛЕНИЯ

В современном производстве молочной продукции актуальным сегодня являются установки и линии, обеспечивающие минимальные энергетические затраты. Добиться выполнения этого требования невозможно без эффективной системы автоматизации линии или установки. Определим возможные пути энергосбережения при автоматизации управления процессом творогоизготовления.

В состав линии приготовления творога входит танк хранения молока, молочные насосы, пастеризатор, танк для сквашивания молока, сам творогоизготовитель (рисунок 1).

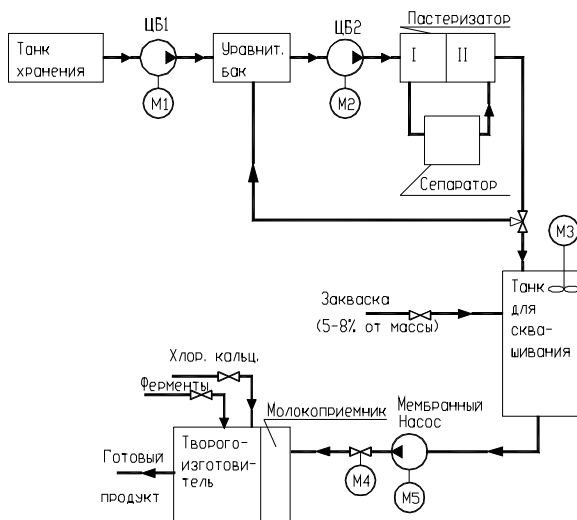


Рисунок 1 - Технологическая линия приготовления творога

При включении линии в работу обеспечивается запуск насоса ЦБ2, затем ЦБ1 и молоко из танка хранения поступает в секцию I пастеризатора, где нагревается до температуры 37-40 °C, откуда поступает в сепаратор-молокоочиститель и далее во вторую секцию пастеризатора, где нагревается до 75-76 °C. Если температура молока выше 75 °C, то оно поступает в танк для сквашивания через перепускной клапан, иначе поступает в уравнительный бак. В танке каждые 20 минут с продолжительностью в одну минуту срабатывает мешалка и подается закваска. При выдержке в танке молока до 35 °C частично сквашенное молоко мембранным насосом подается творогоизготовитель, в котором поддерживается требуемый уровень продукта вентилем, оборудованным исполнительным механизмом.

Наиболее сильно влияет на процесс сквашивания молока качество пастеризации молока, которое определяется точностью поддержания температуры пастеризации. Последняя обеспечивается двумя контурами регулирования [1, с. 223]. Контур управления рециркуляцией непастеризованного молока обеспечивает перепуск непастеризованного молока обратно в уравнительный бак. Контур управления температурой пастеризации обеспечивает поддержание температуры горячей воды для пастеризации с помощью клапана подачи пара. Таким образом, во

втором контуре следует организовать непрерывное регулирование клапаном подачи пара по определенному закону плавного регулирования с помощью микропроцессорной системы управления на базе контроллера.

За счет точности поддержания температуры молока при пастеризации в соответствии с плавным законом регулирования на базе контроллера будет обеспечено сокращение расхода пара и тем самым обеспечено некоторое энергосбережение в процессе творогоизготовления.

Список использованных источников

1. Фурсенко, С.Н. Автоматизация технологических процессов: учеб. пособие / С.Н. Фурсенко, Е.С. Якубовская, Е.С. Волкова. — Минск: Новое знание ; М.: ИНФРА-М, 2015. – 376 с.

Чиж А.В., Матвеев И.П., к.т.н., доцент
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь
МОДЕЛИРОВАНИЕ СХЕМ ДАТЧИКОВ В PROTEUS

В настоящее время разработано и используется большое количество разнообразных программ схмотехнического проектирования и моделирования электронных устройств, что позволяет исследовать эти устройства на компьютере в виде виртуальных схем.

К таким наиболее распространенным программам в настоящее время относятся системы Electronic WorkBench, MathLab, Proteus.

Для проведения компьютерного моделирования была использована программа Proteus, которая представляет собой симулятор принципиальных электрических схем. Proteus включает большую библиотеку электронных компонентов, имеется возможность создавать элементы самостоятельно. С помощью программы Proteus можно смоделировать и проверить работоспособность спроектированной электрической схемы. Таким образом, можно просмотреть результаты работы виртуальной схемы, увидеть недочеты и ошибки до практической реализации. В данной работе был спроектирован датчик сигнализатора уровня среды на основе графического индикатора.

Сигнализаторы и датчики уровня в зависимости от вариантов исполнения, принципов измерения и конструктивных возможностей осуществляют:

- контроль уровня жидкостей: воды, нефти, топлива, масел, жидких пищевые продуктов; сыпучих, твердых, гранулированных сред и др.;
- одновременный контроль текущего уровня заполнения емкости (независимо от электропроводности среды) и раздела сред;
- индикацию наличия/отсутствия жидкости;

- отслеживание уровня сред в нескольких емкостях одним прибором контроля.

Приборы контроля уровня предназначены для использования в технологических установках, емкостях, системах автоматического контроля и управления, находящихся на объектах в различных отраслях промышленности и сельского хозяйства.

Схема датчика уровня представлена на рисунке 1. Четыре операционных усилителя (ОУ) и делитель напряжения образуют четырехуровневый компаратор, управляющий четырьмя светодиодами. Резисторы R1 и R2 используются для изменения исходной чувствительности 250 мВ/светодиод для включения всех светодиодов при уровне сигнала более 1 В. Симуляция величины уровня в схеме осуществляется изменением сопротивления R1 [1].

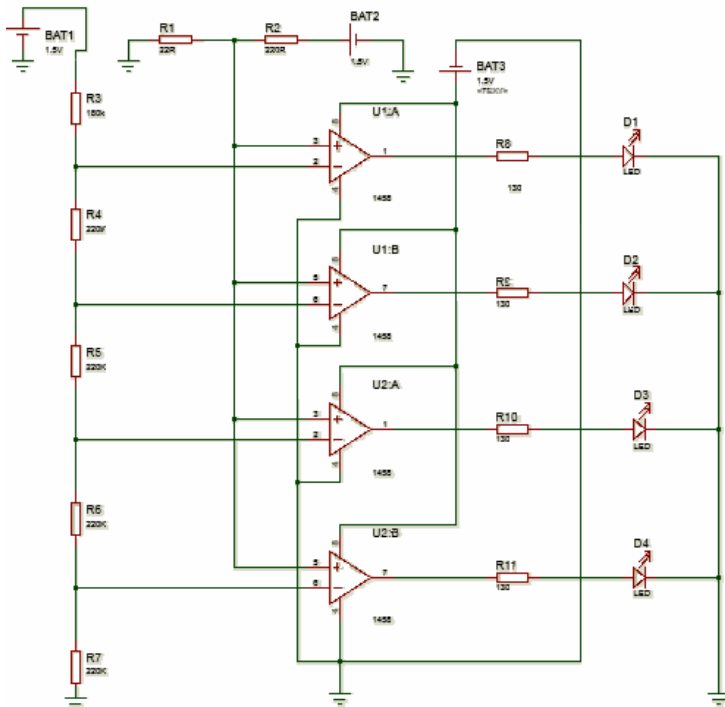


Рисунок 1 - Смоделированная схема датчика уровня

При $R1=20$ Ом напряжение в узле между R1 и R2 равно 1В, тогда напряжение на выходах операционных усилителей будет равно 0,7 В, и это напряжение поддерживает светодиоды Led1-Led4 во включенном состоянии.

При изменении уровня среды (в нашем случае при изменении (уменьшении) $R1$), уменьшается скачком напряжение на соответствующем выходе компаратора (оно становится близким к нулю) и светодиод гаснет.

В результате исследования схемы были определены значения сопротивлений $R1$ (т.е. в итоге величины уровней), при которых гаснет тот или иной светодиод. При $R1=18$ Ом гаснет светодиод Led1, при $R1=14$ Ом гаснет светодиод Led2, при $R1=9$ Ом гаснет светодиод Led3, при $R1=4$ Ом гаснет светодиод Led4. Таким образом, датчик уровня фиксирует изменение уровня среды в четырех диапазонах. Изменение величины уровня визуально можно наблюдать с помощью графического индикатора, состоящего из четырех светодиодов Led1 - Led4. Свечение светодиодов можно наблюдать визуально, если выбрать из базы элементов Proteus их анимационную версию [2]. Либо измерить напряжение на светодиоде, подключив вольтметр, сравнить с чувствительностью данного светодиода.

Кроме исследования схемы модели будущего устройства была проведена трассировка платы после размещения элементов на плате. Программа Proteus позволяет также увидеть макет будущего устройства с использованием 3D-визуализации.

Таким образом, программа позволяет достаточно просто проектировать различные электронные схемы (в том числе схемы датчиков), подбирать и изменять типы и номиналы элементов для задания различных режимов работы схемы, проверять работоспособность спроектированных схем.

Список использованных источников

1. Граф Р., Шиите В. Энциклопедия электронных схем // М.: ДМК-пресс – 2010 – с.280.
2. Электронный ресурс: <http://fb.ru/article/206826/arduino-dlya-nachinayuschih-poshagovyye-instruktsii-programmirovaniye-i-proektyi-arduino-schego-nachat>

**Кротюк Ю.М., к.т.н., доцент, Гривачевский А.Г., к.т.н., доцент
Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси,
Минск**

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРИЦЕПНЫХ И НАВЕСНЫХ АГРЕГАТОВ

В ОИПИ НАН Беларуси разработан экспериментальный образец среды информационной поддержки процессов проектирования и инженерного анализа конструкции прицепных и навесных агрегатов, который обеспечивает информационную поддержку процессов описания и подготовки

данных для проектирования элементов конструкции таких объектов, осуществляет расчетные процедуры и взаимодействие между используемыми функциональными приложениями и который был использован в ряде проектов по созданию конструкции прицепных и навесных агрегатов для обработки почвы.

Основой для автоматизации работ по проектированию конструкции агрегатов являются библиотеки параметризованных CAD-моделей элементов конструкции. Библиотечные модели элементов конструкции используются при разработке конструкторско-технологической документации и проведении исследований прочностных характеристик. Примеры библиотечных моделей агрегатов приведены на рисунке.

Под библиотечной моделью элемента конструкции понимается модель параметризованного конструктивного элемента, который представляет собой твердотельную модель (3D) детали или сборки построенную с соблюдением набора требований, предъявляемых к библиотечным параметризованным моделям. Специальные библиотечные элементы могут представлять эскизную модель конструкции (к примеру, структурная модель рамы), которые используются как компоновочные эскизы или как исходные для проведения конечно-элементных расчетов [1].

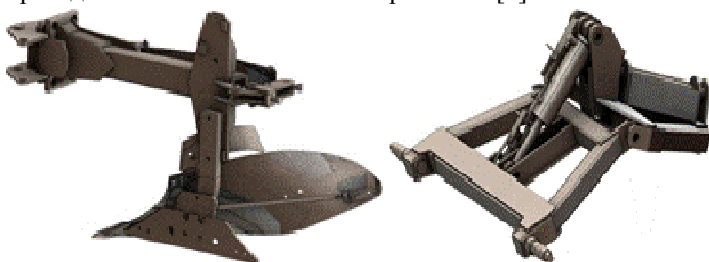


Рисунок – Библиотечные модели агрегатов

С помощью библиотек элементов конструкции выполняются следующие работы:

- создаются конструкции агрегатов (определяются рациональные параметры конструкции, производится выбор сортамента, определяется положение элементов конструкции в пространстве);
- выполняется компоновка конструкции;
- редактируются параметры и свойства элементов конструкций в процессе проектирования.

При проектировании оборудования обеспечивается решение следующих задач:

- взаимодействие со средой графического моделирования SolidWorks;
- формирование модели изделия;

- формирование сборочных моделей изделия;
- формирование спецификаций для сборочных моделей изделий;
- поддержка процессов проектирования элементов конструкции из моделей, заложенных в библиотеку базы данных;
- формирование конструктивных элементов, отличающихся от библиотечных моделей;
- редактирование проектной модели;
- формирование исходных данных для расчета параметров геометрических моделей элементов конструкции;
- формирование отчетов;
- поддержка процессов проведения инженерного анализа в конечно-элементных пакетах ANSYS и LS-DYNA.

Процесс проектирования осуществляется на экранных формах, в рамках которых конструктор задает элементный состав конструкции, параметры элементов конструкции и исходные данные, необходимые для проведения расчетов и оформления документации.

Концепция открытого информационного пространства позволяет создавать списки параметров проектируемых элементов, узлов и проектов в целом, вводить глобальные переменные, производить обмен информацией через базу данных, а также создавать оригинальные, составляющие содержание специальной подсистемы структуры данных.

Использование среды информационной поддержки процессов проектирования и инженерного анализа конструкции прицепных и навесных агрегатов позволяет:

- сократить затраты на проведение натурных испытаний;
- сократить количество исправлений на каждом цикле подготовки конструкторско-технологической документации;
- сократить цикл проектирования и инженерного анализа конструкции, и, как следствие, сроки поставки изделия на производство.

Основными экономическими факторами, влияющими на экономическую эффективность использования среды информационной поддержки процессов проектирования и инженерного анализа конструкции прицепных и навесных агрегатов, являются время и денежные затраты на разработку прототипов конструкции, время и затраты на внесение изменений в прототипы, а также оптимизация параметров конструкции.

Список использованных источников

1. Гривачевский А.Г. Инструментальные программные средства для создания САПР сложных технических объектов /А.Г. Гривачевский, Ю.М. Кротюк // Проблемы создания информационных технологий. Сб. научных трудов / Под ред. Маньшина Г.Г. – Мн.: Государственное предприятие «Информационно-вычислительный центр Белстата» – 2018. – Вып. 28, – с. 23-32.

СЕКЦИЯ 5 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ В ИННОВАЦИОННОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

**Барайшук С.М. к.ф.-м.н., доцент, Павлович И.А., Богданович В.В.,
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь**

ПРИМЕНЕНИЕ ГИДРОЛИЗОВАННОГО ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛА ДЛЯ СНИЖЕНИЯ СЕЗОННЫХ КОЛЕБАНИЙ СОПРОТИВЛЕНИЯ ЗАЗЕМЛЕНИЯ

Аннотация. Рассмотрена возможность снижения сезонных колебаний сопротивления искусственного заземлителя введением, при монтаже, в околоэлектродное пространство гидролизованного полиакрилонитрила в гелеобразном состоянии. На основании результатов проведенных исследований показана возможность применения исследованных добавок для оптимизации заземления.

Введение. При проектировании и монтаже заземляющих устройств в грунтах, имеющих высокое удельное сопротивление, для снижения сопротивления заземления нормативные документы [1] рекомендуют использовать ряд технических решений, одним из которых является применение искусственной обработки грунта неагрессивными к материалу заземлителя компонентами с целью снижения его удельного сопротивления. Однако данное решение не снижает колебаний сопротивления контуров заземления, а зачастую увеличивает коэффициент сезонности.

Результаты и обсуждение. Как показывают исследования [2-3] применение околоэлектродных заполнителей, неагрессивных к металлу, только снижает удельное сопротивление грунта, не влияя на сезонные колебания. Это приводит к необходимости пересмотра рекомендуемых диаметров заземлителей для электроустановок, глубины их погружения в грунт, а так же указывают на необходимость учета увеличения сезонных коэффициентов при расчете контуров заземления. Наиболее перспективным представляется использование состава на основе гидролизованного полиакрилонитрила неагрессивного к материалу заземлителя стабилизирующего и влажность [4-5] непосредственно в околоэлектродном пространстве. В таком случае обеспечивается как уменьшение температуры замерзания несвязанной влаги в грунте за счет ее связывания, так и уменьшение сопротивления грунта, за счет формирования связанных электролитических растворов. Чистый водонаполненный гель на основе гидролизованного полиакрилонитрила эффективен при снижении очень высоких сопротивлений заземлений (порядка 400-600 Ом) и малоэффективен при величинах сопротивлений порядка 100 Ом, в таком случае он

может давать сколь либо заметный эффект только в сочетании с дисперсными токопроводящими порошками.

При использовании электролитов можно достигнуть относительно большого снижения удельного сопротивления, однако это длится небольшое время (около 2 - 4 лет), после чего требуется повторная обработка околоэлектродного пространства.

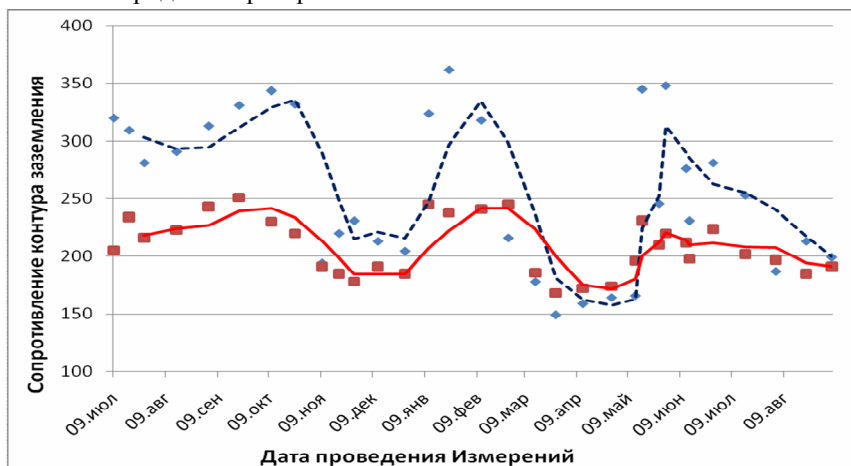


Рисунок 1. Годовой график сопротивления контрольного контура (пунктирная линия) и контура с использованием гидролизованного полиакрилонитрила (сплошная линия).

Для проведения исследований были смонтированы несколько заземляющих устройств: контрольный контур заземления, без добавления каких либо добавок и экспериментальный контур в околоэлектродном объеме грунта которого проведена обработка пространства гидролизанным полиакрилонитрилом в гелеобразном состоянии. Измерение сопротивления заземляющих устройств проводились при помощи измерителя ИС-10, трехпроводным методом, годовой график изменения сопротивления контрольного контура и контура выполненного с применением смеси на основе гидролизованного полиакрилонитрила приведен на рисунке 1.

Как видим, график имеет более гладкий вид, а сопротивление в целом более низкое значение. При исследовании влияния смеси на коэффициент сезонности установлено, что при засыпке смесью 30% длинны электродов коэффициент сезонности снижается на 8,6%, 60% – 17,7%; 100 – 20,1%. В случае, обработки грунта и вокруг вертикальных электродов коэффициент сезонности снижается на 23,3% по сравнению с контрольными значениями для необработанного контура.

Заключение. Применение смесей на основе гидролизованного полиакрилонитрила позволяет снизить как коэффициент сезонности до 23% так и общее сопротивление контура заземления. Применение смесей таких позволит уменьшить затраты на монтаж заземляющих устройств уменьшением количества заземлителей, и размеров территории, на которой они располагаются.

Список использованных источников

1. ТКП 339-2011(02230) Электроустановки на напряжение до 750 кВ. Линии электропередачи воздушные и токопроводы, устройства распределительные и трансформаторные подстанции, установки электросиловые и аккумуляторные, электроустановки жилых и общественных зданий. Правила и защитные меры электробезопасности. Учет электроэнергии. Нормы приемосдаточных испытаний. – Введ. 23.08.2011. – Минск : Мин. Энерго. Республики Беларусь, 2011. – 593с.
2. IEEE Std 142 -2007 IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems. – Approved 7 June 2007. 225 p.
3. Грибанов А.Н. Бипрон — заземление электроустановок //Экспозиция Нефть Газ,– 2016 .– №4 .– с. 72-75.
4. Shi L., Yang N., Zhang H., Chen L., Tao L., Wei Y., Liu H., Luo Y. A novel poly(glutamic acid)/silk-sericinhydrogel for wound dressing: Synthesis, characterization and biological evaluation. Materials Science and Engineering C. 2009; 48 (1): 533–540.
5. Ширинов Ш.Д., Джалилов А.Т. Исследование кинетики набухания синтезированных гидрогелей на основе гидролизованного полиакрилонитрила // Universum: Химия и биология : электрон. научн. журн. 2018. № 3(45).

Барайшук С.М. к.ф.-м.н., доцент, УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, РБ

Х.Л.Хуан магистр физики, директор

Чжоньданский педагогический университет, Чжоньдан, КНР

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ
ПРИ ИЗУЧЕНИИ СМАЧИВАЕМОСТИ**

Аннотация. В данной работе, методом математического моделирования изображения контура сидячей капли с использованием математического пакета Maple, проводится моделирование прямых измерений краевых углов смачивания поверхностей твердых тел. Показаны преимущества такого метода, его воспроизводимость, и возможность ис-

пользовать для уменьшения субъективного влияния в процессе определения краевого угла смачивания.

Введение. Важнейшим вопросом материаловедения является разработка методов и способов модификации поверхности металлических изделий с целью улучшения их гидрофобных свойств. Факторами, определяющими эксплуатационные характеристики электротехнических материалов, являются шероховатость и смачиваемость поверхности [1-3]. В работе были проведены измерения краевых углов смачивания поверхности и проведено математическое моделирование изображения контура сидячей капли которое получены на ранее описанной установке [4], с использованием математического пакета Maple, что позволило автоматизировать процесс измерений.

Эксперимент. Непосредственный эксперимент осуществляли при 20⁰С и влажности 75%. Вначале специальным устройством размещают каплю на исследуемой поверхности. Образец находится на предметном столе выровненном по горизонтали. Камеру CCD устанавливают соосно образцу. Система капля/образец стабилизируется с течение 10-15 минут, а потом фотографируется. Изображение сохраняется в формате RAW (рис. 1 а.). В качестве тестовых образцов нами были использованы системы Ti-покрытие/стеклянная подложка полученные методом осаждения металла в условиях облучения собственными ионами с различными режимами нанесения покрытия.

Результаты и обсуждение. В данной работе для определения контура капли применяли групповые фильтры и специально разработанную программу Angle, которая фильтрует изображение система капля – подложка – воздух таким образом, чтобы выделенной оказалась газовая фаза и изображение системы оказалось спроецировано на плоскость. После обработки получали следующие изображения (рис. 1 б.).

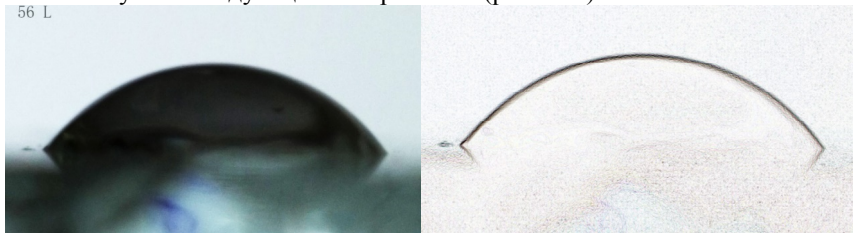


Рисунок 1. Исходное и обработанное изображение капли на поверхности систем Ti-покрытие/стеклянная подложка.

Моделирование полученных экспериментальных результатов:

Для нахождения краевых углов смачивания нами была предпринята попытка смоделировать контур капли. При этом было сделано допущение, что контур капли будет представлять собой сегмент эллипса. Тогда форму капли можно описать функцией второго порядка. Для этого, на обрабо-

танном групповыми фильтрами изображении с установленной границей раздела жидкость-газ выбираем 6 произвольных точек в каждом изображении. Выборкой 4 из 6 строим уравнения эллипса, которые укладываются на эти точки. Все полученные уравнения усредняем.

Решая в программном пакете Maple систему уравнений для $\frac{(x-x_0)}{a^2} + \frac{(y-y_0)}{b^2} = 1$ и выбранных точек, находим параметры эллипса:

координаты центра $(x_0; y_0)$, большую (a) и малую полуоси (b). Найдя все эти параметры, мы получаем функцию, описывающую контур капли. После этого определяем по изображению точки трехфазного контакта на проекции полученного изображения и по их координатам строим прямую, описывающую исследуемую поверхность

$$y = \frac{y_b - y_a}{x_b - x_a} x - \frac{(y_b - y_a)x_a}{x_b - x_a} + y_a.$$

В точках трехфазного контакта

строили касательные к эллиптической поверхности капли, после чего можно найти тангенс угла между касательной и прямой проходящей

вдоль поверхности образца: $k_1 = \frac{y_b - y_a}{x_b - x_a}; \quad k_2 = \frac{b^2(m - x_0)}{a^2(n - y_0)};$

$$\operatorname{tg} \alpha = \left| \frac{k_2 - k_1}{1 + k_2 k_1} \right| - \text{соответственно. Откуда всегда можно найти непосред-$$

ственно краевой угол смачивания в изучаемой системе.

Проведя анализ изображений капли и математическое моделирование контура капли и краевых углов и сравнив их с результатами прямых измерений с применением ранее описанной установки и методики [5], (результаты приведены в таблице) получили разницу результатов не превышающую $0,3^\circ$, при статистической погрешности менее 0,5%.

Заключение. Моделирование проекции поверхности капли дает результаты близкие к результатам прямых измерений. Статистическая погрешность таких измерений не превышает 0,5%, что позволяет использовать этот метод для определения краевого угла смачивания в дальнейшем, т.к. он хорошо воспроизводим и не требует изменения в экспериментальной части измерений.

Список использованных источников

1. Kwok X.D. Tian Y. Peng X.F. /Selfaggregation of vapor—liquid phase transition // J. Prog. in Nat.Science. – 2003. – 13.– p.451 – 456.
2. Ю.В. Соловьев и др. /Метод оценки состояния защищенных проводов при электрическом старении в условиях повышенных

загрязненный и увлажненный // Науч.-техн. ведомости Санкт-Петербургского гос. Политех. Ун. 1(214) 2015. С 114 – 122.

3. И.И. Ташлыкова-Бушкевич и др./ Морфология и элементный состав как факторы, определяющие смачиваемость поверхностей фольг сплавов алюминия, полученных высокоскоростной кристаллизацией //Мат. XI межд. к. БЕЛСЗМ. Минск, 2014. – С. 72–77.

4. Барайшук С.М., Дедюля И.В. /Экспериментальнае вивучэнне змочвання цвёрдых паверхняў вадкасцямі ў курсе агульнай фізікі. //Весці Беларус. дзярж. пед. ун-та. Сер. 3, Фізіка. Матэматыка. Інфарматыка. – 2011. –№4(70). – С. 29–32.

5. Автоматизированный комплекс для измерения равновесного краевого угла смачивания на плоских поверхностях /Патент РБ 7074 по заявке 20100661, от 12.10.2010 // Е.П. Макаревич, И.С. Ташлыков, С.М. Барайшук, М.А. Андреев.

Бобрович О.Г., к.ф.-м.н., доцент,

Белорусский государственный технологический университет

Барайшук С.М., к.ф.-м.н., доцент

***Белорусский государственный аграрный технический университет,
Минск***

СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТИ СПЛАВА AMg2M , ФОРМИРУЕМОЙ ИОННО-АССИТИРУЕМЫМ ОСАЖДЕНИЕМ МОЛИБДЕНА И ТИТАНА

В данной работе изучали закономерности смачивания и микротвердость поверхности алюминиевого сплава AMg2M , модифицированного осаждением молибдена, титана в условиях ассистирования ионами Mo^+ , Ti^+ , соответственно, с использованием резонансного ионного источника вакуумной электродуговой плазмы. Данный источник создает плазму вакуумного электродугового разряда, в которой одновременно генерируются положительные ионы и нейтральная фракция из материала электродов источника ионов. В качестве материала электродов применялся чистый молибден и титан 99,9%. Осаждение покрытия проводили при ускоряющем напряжении $U = 3, 6, 9, 12, 15 \text{ кВ}$ для ионов Mo^+ , Ti^+ и интегральных потоках ионов $1,1 \cdot 10^{17} - 2,1 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$. Морфология поверхности исходных и модифицированных образцов изучалась, используя атомно-силовую микроскопию в контактном режиме (атомно-силовой микроскоп NT-206), микротвердость с помощью прибора MVDМ8, а смачивание дистиллированной водой определяли по равновесному краевому углу Θ смачивания (РКУС).

Средняя шероховатость исходного образца сплава АМг2М составляла 34,3 нм и снижалась до 7,8 нм для ассистирующих ионов Mo^+ и до 14,4 нм для ионов Ti^+ при ускоряющем напряжении $U = 12$ кВ.

При внедрении сравнимых доз ионов молибдена и титана в образцы сплава с ростом ускоряющего напряжения значения РКУС также увеличивались (рис. 1). Исходная поверхность сплава была гидрофильной ($\Theta = 64,8^\circ$) и оставалась гидрофильной после модифицирования при всех значениях ускоряющих напряжений для ассистирующих ионов титана. При осаждении молибдена поверхность оставалась гидрофильной после модифицирования при $U = 3$ и 6 кВ, а после модифицирования сплава при $U = 9, 12, 15$ кВ для ассистирующих ионов поверхность стала гидрофобной и значение РКУС увеличилось до $\Theta = 98,1^\circ$ при 15 кВ.

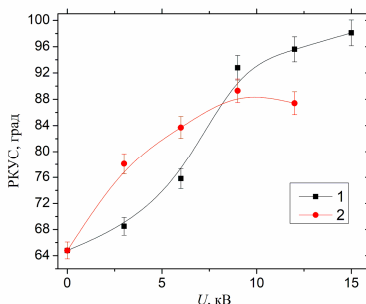


Рис. 1. Зависимость краевого угла смачивания дистиллированной водой поверхности сплава АМг2М от ускоряющего напряжения для ассистирующих ионов: 1 – Mo^+ ; 2 – Ti^+

При измерении чисел микротвердости, чтобы исключить влияние масштабного эффекта, относительное изменение микротвердости $\Delta H/H_{\text{исх}}$ модифицированных образцов сплава алюминия определялось для одинаковых глубин проникновения индентора микротвердомера. Нагрузка на индентор P менялась в интервале от 10 до 100 г, что соответствовало изменению глубины проникновения индентора от $2,2 \pm 0,1$ до $7,5 \pm 0,3$ мкм. Следует отметить, что толщина модифицированного слоя была на 1–2 порядка меньше глубины проникновения индентора микротвердомера в поверхность модифицированного образца. Данные об относительном изменении микротвердости поверхности сплава алюминия после ионно-ассистируемого осаждения Ti -покрытия и Mo -покрытия представлены в таблице, которые свидетельствуют о том, что при нагрузках на индентор, равных 50 и 100 г, относительное изменение микротвердости сплава алюминия лежит в пределах погрешности измерений чисел микротвердости. Увеличение относительного изменения микротвердости на 13% наблюда-

ется при осаждении Ti при ускоряющем напряжении $U = 3$ кВ, на 15% ($U = 6$ кВ) и осаждении Mo ($U = 9$ кВ) – при малых нагрузках (10 и 25 г) на индентор микротвердомера. Уменьшение $\Delta H/H_{исх}$ на 8% наблюдается при осаждении Ti ($U = 9$ кВ) и при осаждении Mo ($U = 6$ кВ) при нагрузке 10 г на индентор микротвердомера.

Таблица – Относительное изменение микротвердости сплава алюминия марки АМг2М, модифицированного ионно-ассистированным осаждением Mo-покрытий и Ti-покрытий

Относительное изменение микротвердости	Осаждаемый материал	P , г	U , кВ			
			3	6	9	12
$\Delta H / H_{исх}$	Ti	10	+0,13	+0,06	–0,08	0,00
		25	+0,03	+0,15	–0,02	+0,10
		50	+0,03	0,00	+0,01	+0,06
		100	+0,03	+0,01	+0,03	+0,04
	Mo	10	+0,03	–0,08	+0,15	–0,06
		25	–0,01	+0,07	+0,14	–0,01
		50	+0,01	–0,01	+0,06	–0,04
		100	+0,01	+0,06	+0,04	–0,02

Изменение микротвердости поверхности сплава АМг2М при ионно-ассистированном осаждении покрытий обусловлено, по-видимому, конкуренцией двух механизмов. Один механизм заключается в формировании на поверхности образца слоев с повышенными прочностными свойствами. Причиной увеличения микротвердости, как известно, является образование в приповерхностных областях карбидов металлов и структурных дефектов, формируемых при ионно-лучевом воздействии. Второй механизм связан с разупрочнением приповерхностных слоев полученных структур. Нами ранее были проведены исследования методом ядерных реакций [1], которые установили, что в покрытиях, полученных ионно-ассистированным осаждением содержится ~6–10 ат. % водорода, что приводит к уменьшению прочности поверхности образца.

Список использованных источников

1. Изучение ядерно-физическими методами металлосодержащих (Ti, Co)-покрытий, осажденных методом ионного ассистирования на кремний / О.Г. Бобрович, И.С. Ташлыков, В.В. Тульев, С.М. Барайшук // Физика и химия обработки материалов. – 2006. – № 1. – С. 54–58.

**Будзинский М. д.ф.-м.н.,
Институт физики Университета М. Кюри-Склодовской, Люблин,
Польша**

**Барайшук С.М. к.ф.-м.н., доцент
Белорусский государственный аграрный технический университет,
Минск**

ИЗМЕНЕНИЕ СОСТАВА ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ ОБЛАСТЕЙ КРЕМНИЯ ПРИ РАБОТЕ РАДИОИЗОТОПНОГО ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРА НА ОСНОВЕ ^{60}Co

Введение. Одним из видов альтернативных источников энергии для автономных систем, невысокой мощности и нуждающихся в длительной работе без обслуживания являются радиоизотопные термоэлектрические генераторы [1]. Такие источники применяются для обеспечения питания в навигационных маяках, радиомаяках, метеостанциях и подобном оборудовании, установленном в местности, где по техническим или экономическим причинам нет возможности воспользоваться другими источниками электропитания, кроме того имеют широкое применение в космической отрасли, радио медицине. Применяются для активации посевного материала (для стимуляции роста и урожайности зерновых и овощных культур. Использование изотопа ^{60}Co в качестве действующего вещества потенциально интересно высокой удельной эффективностью таких систем, но сопряжено с активным воздействием его на конструкционные элементы, что представляет интерес для исследований [2, 3]. В работе приведены результаты исследования кремниевых элементов после облучения ионами Co в условиях самооблучения.

Результаты и обсуждение. Кремниевые пластины облученные кобальтом исследовались при помощи сканирующей электронной микроскопии в сочетании с анализом обратного энергодисперсионного рассеяния электронов с энергией 10 кВ (глубина анализа 1,3 мкм). Проводился анализ результатов Резерфордского обратного рассеяния с послойным моделированием RUMP. На снимках СЭМ (рисунок 1) с наложенной картой рассеяния видно присутствие включений кобальта, в том числе и в виде микрокапельной фракции размерами от 0,1 до 1 мкм.

На рисунке 1 так же видно наличие повреждений на поверхности, и отслоений, вызванных внешними воздействиями. Анализ спектров показывает, что в приповерхностной области концентрация кобальта достигает 5,1 ат%. Результаты послойного моделирования состава образцов приведены на рисунке 2.

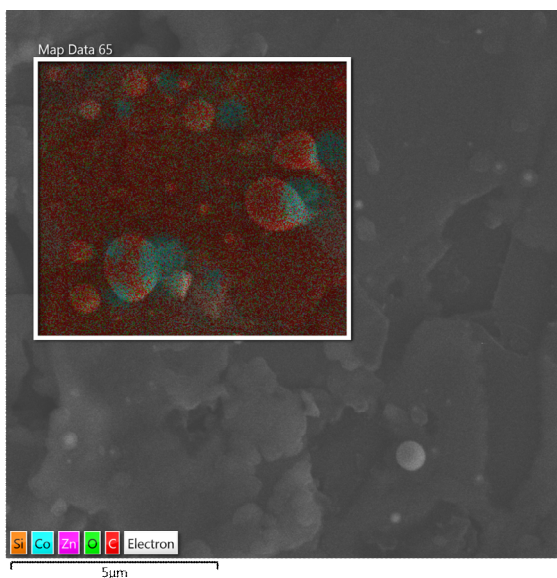


Рисунок 1 – Снимки СЭМ поверхности кремния с наложением результатов анализа распределения Co по поверхности.

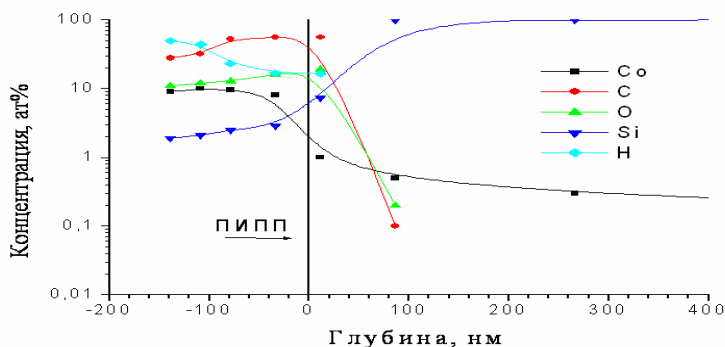


Рисунок 2– Профили компонентов в системе Co/Si после ионно-ассистированного воздействия Co на кремний.

РОР подтверждает наличие кобальта в осаждаемом покрытии на кремний и свидетельствует о присутствии в приповерхностной области атомов углерода и кислорода. Кроме того моделирование показала наличие там и водорода, аналогично ранее изученным системам. Появление в изучаемых

покрытиях кислорода, углерода и водорода мы связываем, с осаждением этих элементов совместно с частицами металла из рабочего пространства камеры. Распределение Co на профилях пространственного распределения компонентов конструкции, характеризуется концентрацией, снижающейся от 8,5 ат. % на поверхности, до 1 ат. % в области межфазной границы системы. Атомы Co, идентифицируются в кремнии на глубине более 100 нм с концентрацией ~ 0.04 ат. %.

Из экспериментально измеренных профилей следует, что водород содержится только в приповерхностных областях, не входит в кремний, что согласуется с результатам работы [4], в то время как для всех остальных идентифицированных элементов наблюдается радиационно - стимулированная диффузия в кремний.

Заключение. Установлено, что в процессе облучения ионами Co происходит формирование тонких слоев на поверхности кремния и радиационно - стимулированная диффузия по глубине не только самого металла, но и сопутствующих элементов, что будет влиять на физические, механические, а значит и эксплуатационные свойства приборов на кремниевой основе при эксплуатации в условиях облучения ионами ^{60}Co .

Список использованных источников

1. ГОСТ 18696-90 Генераторы радионуклидные термоэлектрические. Типы и общие технические требования. Госстандарт СССР, 13.06.1990.
2. А.А. Бурков / влияние концентрации кобальта на фазовый состав WC-Co электроискровых покрытий на низкоуглеродистой стали/ Приволжский научный вестник №8(36) ч. 1.– 2014. С. 25-30.
3. Sani A.S., Aliyu I., Polycarp E./ Effect of chromium and cobalt additions on the corrosion resistance of aluminium silicon iron alloy (Al Si Fe) // International Journal of Scientific & Engineering Research. 2012. V. 3. Issue 12. P. 1–10.
4. О.Г. Бобрович, И.С. Ташлыков и др./ Изучение ядерно-физическими методами металлосодержащих (Ti, Co) – покрытий, осажденных методом ионного ассистирования на кремний// Физика и химия обраб. мат. – 2006. – №1. – С. 54–58.

Вертель М. к.ф.-м.н.,
Институт физики, университета М. Кюри-Склодовской, Люблин,
Польша

Барайшук С.М. к.ф.-м.н., доцент,
Белорусский государственный аграрный технический университет,
А. Туровец, Институт физики, университета М. Кюри-Склодовской,
Люблин, Польша

С.И. Янущик *Белорусский государственный аграрный технический*
университет, Минск

ТОПОЛОГИЯ ПОВЕРХНОСТИ КОБОЛЬТОВОГО ПОКРЫТИЯ НА КРЕМНИИ ПОЛУЧЕННОГО ИОННО-АССИСТИРОВАННЫМ ОСАЖДЕНИЕМ

Введение. Осаждение светопрозрачных коррозионно стойких защитных покрытий является перспективным направлением модификации поверхности функциональных материалов, например, солнечных элементов. Такие покрытия позволяют создать верхний слой, сочетающий защитные и проводящие свойства, что является актуальной задачей для солнечной энергетики [1]. В нашей работе исследовались закономерности влияния нанесения покрытия на морфологию и шероховатость поверхности образцов кремния, модифицированных ионно-ассистированным нанесением кобальто содержащих покрытий в условиях облучения ионами осаждаемого покрытия [2]. Образцы кремния модифицировались нанесением кобальта при ускоряющем потенциале 7 кВ и разном времени нанесения. Состав поверхности изучен ранее в [3]. Изучение топологии проводилось с применением атомно-силового микроскопа NT 206 в сочетании со сканирующей электронной микроскопией с использованием EDX Oxford Instruments AZtecEnergy-Advanced с кремний-дрейфовым детектором Vega3 Tescam при ускоряющем потенциале электронов от 5 до 20 кВ.

Результаты и обсуждение. Перед нанесением покрытий было проконтролировано качество обработки поверхности исходного кремния как при помощи АСМ, так и при помощи СЭМ (рисунок 1). Была измерена средняя шероховатость площадок исходного кремния, она составляет 0,169 нм по площадке 25 мкм^2 при этом отношение полной площади поверхности к проективной 1,0027 – крайне низкое, что говорит о высочайшем качестве подготовки поверхности.

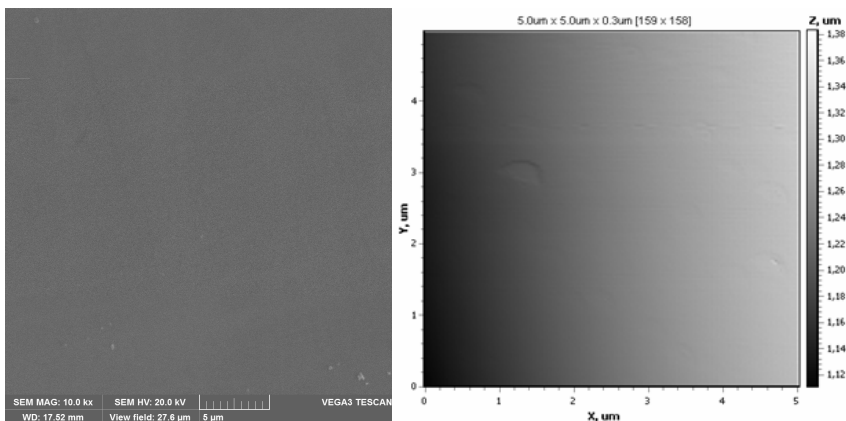


Рис. 1. Топография поверхности исходного кремния, полученная СЭМ (а) и АСМ (б).

После нанесения Со-покрытий средняя шероховатость поверхности кремниевых образцов весьма незначительна и изменяется от ~ 0.2 нм у исходного кремния до ~ 1.6 нм на поверхности кремния с Со покрытием. На рис. 2 представлены изображения топографии поверхности исходного кремния и модифицированного нанесением Со-покрытия кремния. При этом отношение полной площади поверхности к проективной 1,073.

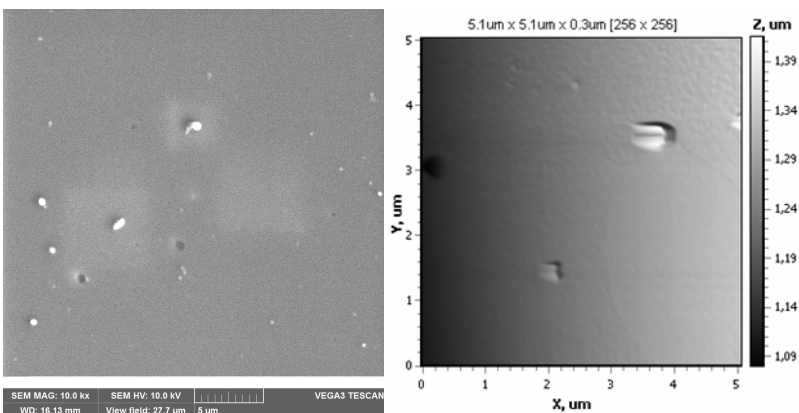


Рис. 2. Топография поверхности кремния модифицированного нанесением Со полученная СЭМ (а) и АСМ (б).

Топография поверхности конструкций кобальтовое покрытие/кремний имеет принципиальное отличие от исходной поверхности рис. 2. Видно,

что поверхность структуры более неравномерная, основной рельеф имеет перепады до 2 – 3 нм по высоте и большую площадь. При анализе топографии поверхности кремния с покрытиями на основе Co, полученных при разных ускоряющих потенциалах, становится заметно, что шероховатость поверхности нелинейно уменьшается с ростом энергии ассистирования. По нашему мнению, это связано с тем, что при более низком ускоряющем потенциале плотность энергии, выделенной в каскадах атомных столкновений, становится гораздо выше, что приводит к увеличению коэффициента распыления поверхности и шероховатости поверхности. Однако, плотность выделенной в каскадах атомных столкновений энергии зависит кроме прочего от материала основы покрытия.

Заключение. При ионно-ассистированном нанесении Co – покрытий качества поверхности пластин модифицированного кремния высокие и удовлетворяют требованиям микроэлектроники. Характеристика поверхности при малом времени нанесения, когда толщина покрытия составляет 270 нм позволяют рассматривать возможность применения таких покрытий в качестве лицевых контактов, поскольку нанесение таких покрытий оказывает малое влияние на их морфологию и шероховатость поверхности и, как следствие, на эффективность солнечного элемента.

Список использованных источников

1. Paranthaman M.P., Wong-Ng W., Bhattacharya R.N. Semiconductor Materials for Solar Photovoltaic Cells. Springer International Publishing, 2016. 25 p.
2. Ташлыков И.С., Белый И.М. Способ нанесения покрытий. Патент РБ №2324. 1C1 ВУ, C23 C4/12. C4/18, C14/16. Оpubл. 1999. офиц. бюл. гос. пат. ведом. РБ №1.
3. Бобрович О.Г., Ташлыков И.С., и др./ Изучение ядерно-физическими методами металлосодержащих (Ti, Co) – покрытий, осажденных методом ионного ассистирования на кремний // Физика и химия обработки материалов. – 2006. – №1. – С. 54–58.

Гуртовой В.Г., Шёлковая Т.В., к.ф.-м.н., Чумак В.А.

**ГНПО «Научно-практический центр Национальной академии наук
Беларуси по материаловедению», Минск**

СТРУКТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМЫ $\text{Cu}_2\text{CdSn}_{1-x}\text{Si}_x\text{Se}_4$

Медьсодержащие халькогениды являются перспективными материалами для использования их в качестве базовых слоёв фотопреобразователей, так как они являются прямозонными полупроводниками и обладают большим коэффициентом поглощения в видимой и ближней ИК-области спектра. В

настоящее время КПД фотопреобразователей солнечного излучения на основе твёрдых растворов $\text{Cu}(\text{Ga}, \text{In})\text{Se}_2$ составляет 21.7 % [1]. В связи с тем, что In и Ga достаточно дорогие и редкие металлы их стали замещать более дешёвыми и доступными элементами: Zn, Sn, Si, Ge, Cd и др.

Однако, несмотря на многочисленные исследования этих соединений, максимальный КПД преобразования солнечного излучения к настоящему времени получен не более 12.6 % для $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$ [2]. Одной из причин низкой эффективности фотоэлектрического преобразования этих соединений является значительное отклонение от стехиометрического состава при их синтезе и получении плёнок, что приводит к высокой концентрации собственных структурных дефектов разной природы и образованию примесей в виде двойных или тройных фаз. Поэтому продолжают интенсивные работы по синтезу и исследованию физических свойств этих четверных соединений. Особый интерес представляют твёрдые растворы на основе соединений этого семейства, которые имеют разные кристаллические структуры. К таким соединениям относятся соединения CuCdSnSe_4 и $\text{Cu}_2\text{CdSiSe}_4$ и твёрдые растворы на их основе. Целью данной работы были синтез четверных соединений $\text{Cu}_2\text{CdSnSe}_4$, $\text{Cu}_2\text{CdSiSe}_4$, твёрдых растворов $\text{Cu}_2\text{CdSn}_x\text{Si}_{1-x}\text{Se}_4$ и определение кристаллографических характеристик полученных соединений и твёрдых растворов в зависимости от состава.

Синтез четверных соединений $\text{Cu}_2\text{CdSnSe}_4$, $\text{Cu}_2\text{CdSiSe}_4$ и твёрдых растворов $\text{Cu}_2\text{CdSn}_{1-x}\text{Si}_x\text{Se}_4$ проводили в вертикальной однозонной печи, а исходными веществами служили элементарные компоненты: медь, кадмий, олово, кремний чистоты 99.999 % и селен марки ОСЧ. Однотемпературный метод синтеза обеспечивает чистоту получаемого вещества и отсутствие потерь компонентов. Синтез проводился в вакуумированных двойных кварцевых ампулах. Ампулы устанавливали на стеклянный штوك в вертикальной однозонной печи. Конец штока присоединяли к механическому вибратору. Температуру в печи изменяли поэтапно, с двухчасовым выдерживанием, и поднимали до значений на 20 – 30 °C превышающих температуру плавления соединения, либо температуры ликвидуса соответствующего твёрдого раствора. При достижении нужной температуры включали вибрационное перемешивание и выдерживали в течении 24 часов. Затем вибрацию отключали и уменьшали температуру со скоростью 5 град/час до полного затвердевания состава. Для гомогенизации полученных слитков соединений и твёрдых растворов проводили их изотермический отжиг в вакууме при 750 °C в течении 300 ч.

Определение кристаллографических характеристик соединений $\text{Cu}_2\text{CdSnSe}_4$, $\text{Cu}_2\text{CdSiSe}_4$ и твёрдых растворов $\text{Cu}_2\text{CdSn}_{1-x}\text{Si}_x\text{Se}_4$ проводили рентгенографическим методом на дифрактометре ДРОН-3М, используя монохроматическое CuK_α излучение.

На рис. 1 приведены дифрактограммы твёрдых растворов $\text{Cu}_2\text{CdSn}_{1-x}\text{Si}_x\text{Se}_4$ различного состава с $x = 0; 0.2; 0.4; 0.6; 0.8; 1$ снятые при комнатной температуре. Как видно из рисунка, при $x = 0 - 0.4$ на дифрактограммах наблюдаются рефлексы характерные только для тетрагональной структуры. В то время как дифрактограммы для составов с $x = 0.6 - 1$ полностью соответствуют орторомбической структуре. Из этого следует, что в системе $\text{Cu}_2\text{CdSn}_{1-x}\text{Si}_x\text{Se}_4$ с ростом концентрации при $x \approx 0.5$ происходит структурный фазовый переход из тетрагональной фазы в орторомбическую. Из рис. 1 видно, что в системе $\text{Cu}_2\text{CdSn}_{1-x}\text{Si}_x\text{Se}_4$ при замещении атомов олова атомами кремния с меньшим атомным радиусом все рефлексы с увеличением x смещаются в область больших углов, т.е. происходит сжатие кристаллической решётки. По полученным дифракционным спектрам определены параметры элементарной ячейки исследуемой системы $\text{Cu}_2\text{CdSn}_{1-x}\text{Si}_x\text{Se}_4$. На рисунке 2 приведены зависимости определённых параметров элементарной ячейки a , b , c системы $\text{Cu}_2\text{CdSn}_{1-x}\text{Si}_x\text{Se}_4$ от состава. Как видно из рисунка, параметры a , b , c как для тетрагональной, так и для орторомбической фазы с ростом значений x плавно уменьшаются по линейному закону, что соответствует правилу Вегарда и свидетельствует об образовании в системе $\text{Cu}_2\text{CdSn}_{1-x}\text{Si}_x\text{Se}_4$ двух рядов твёрдых растворов: одного на основе соединения $\text{Cu}_2\text{CdSnSe}_4$ с тетрагональной структурой в области $x \leq 0.4$, а другого на основе соединения $\text{Cu}_2\text{CdSiSe}_4$ с орторомбической структурой в области $x \geq 0.6$.

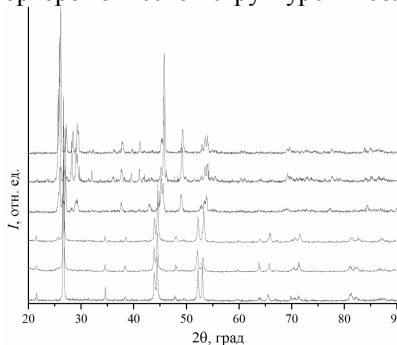


Рисунок 1. Дифрактограммы твёрдых растворов $\text{Cu}_2\text{CdSn}_{1-x}\text{Si}_x\text{Se}_4$ для x :

1 - 0; 2 - 0.2; 3 - 0.4; 4 - 0.6;
5 - 0.8; 6 - 1

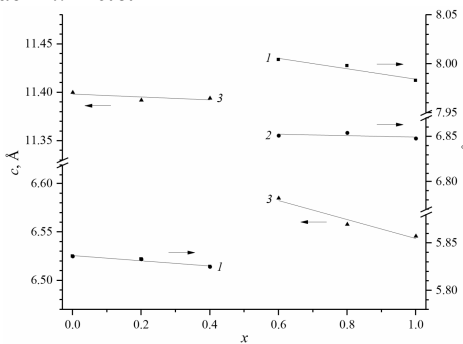


Рисунок 2. Зависимости параметров элементарной ячейки системы $\text{Cu}_2\text{CdSn}_{1-x}\text{Si}_x\text{Se}_4$ от состава:
1 - a ; 2 - b ; 3 - c

Следует отметить, что значения параметров элементарной ячейки синтезированных нами соединений $\text{Cu}_2\text{CdSnSe}_4$ ($a = 5.836 \text{ \AA}$, $c = 11.400 \text{ \AA}$) и

$\text{Cu}_2\text{CdSiSe}_4$ ($a = 7.983 \text{ \AA}$, $b = 6.848 \text{ \AA}$, $c = 6.546 \text{ \AA}$) хорошо согласуются с литературными данными [3, 4].

Список использованных источников

- 1 Properties of $\text{Cu}(\text{In,Ga})\text{Se}_2$ solar cells with new record efficiencies up to 21.7% / P. Jackson [et al.] // *Physica Status Solidi (RRL)*. – 2015. – V. 9. N 1. – P. 28-31.
- 2 Device Characteristics of CZTSSe Thin-Film Solar Cells with 12.6% Efficiency / W. Wang [et al.] // *Advanced Energy Materials*. – 2014. – V. 4. N 7. – P. 36-45.
- 3 Thermal analysis and synthesis from the melts of Cu-based quaternary compounds Cu-III-IV-VI_4 and $\text{Cu}_2\text{-II-IV-VI}_4$ (II=Zn, Cd; III=Ga, In; IV=Ge, Sn; VI=Se) / H. Matsushita [et al.] // *Journal of Crystal Growth*. – 2000. — V. 208. N 1–4. — P. 416-422.
- 4 Zur Sytematik tetraedrischer Verbindungen vom Typ $\text{Cu}_2\text{MeIIMeIVMe}_4\text{VI}$ (Stannite und Wurtzstannite) / W. Schäfer, R. Nitsche // *Z. Kristal.* – 1977. – V. 145. – P. 356-370.

Долгий В.К., к.ф.-м.н., доцент

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь

Мисевич А.В., канд. физ.-мат. наук, доцент;

Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет»

**ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛЕНОК
БЕЗМЕТАЛЬНОГО ФТАЛОЦИАНИНА**

Огромное количество органических полупроводников является перспективным электронным материалом при разработке таких элементов органической электроники, как светоизлучающие диоды, солнечные батареи, полевые транзисторы и газовые сенсоры [1]. Фталоцианины – это класс органических полупроводников, особенностью которых является высокая термическая и химическая стойкость, способность к обратимой сорбции различных субстанций (газов, органических молекул). Для практических применений фталоцианины приготавливают преимущественно в виде тонких пленок, электрофизические свойства которых определяются примесями, сорбированными из окружающей среды, например молекулярным кислородом. Потому целью данной работы является установление механизма влияния адсорбированного кислорода на проводимость тонких плёнок безметалльного фталоцианина.

Плѐнки безметалльного фталоцианина толщиной 200 нм были получены методом термического распыления в вакууме порошкообразной мишени с последующим осаждением продуктов распыления на поликорковые подложки со встречно – штыревой системой электродов, находящиеся при комнатной температуре. При одних и тех же условиях была подготовлена серии состоящая из 10 образцов.

Температурная зависимость проводимости на воздухе и в вакууме 10^{-2} Па измерялась электрометром В7Э-42 методом циклической термодесорбции [2], который заключается в уменьшении концентрации адсорбированного кислорода. Удельная проводимость σ фталоцианинов зависит от температуры T как

$$\sigma = \sigma_0 \exp\left(-\frac{\varepsilon_a}{kT}\right),$$

где σ_0 – предэкспоненциальный множитель, ε_a – энергия активации проводимости, k – постоянная Больцмана.

Измеренный набор температурных зависимостей при постепенном увеличении температуры плѐнок от 40^0 С до 75^0 С позволил определить набор значений предэкспоненциального множителя σ_0 и энергии активации ε_a проводимости, для различных концентраций адсорбированного кислорода.

На рис. представлена связь предэкспоненциального множителя с энергией активации проводимости для одного образца серии измеренной на воздухе и в вакууме.

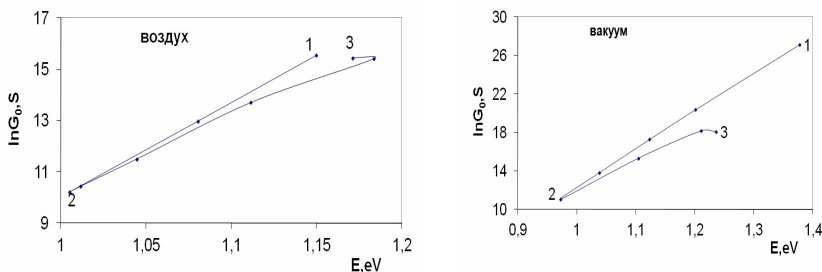


Рис. Связь предэкспоненциального множителя с энергией активации проводимости измеренной на воздухе и в вакууме.

На зависимости в воздухе можно выделить два участка: участок 1-2, на котором происходит одновременное уменьшение энергии активации проводимости и предэкспоненциального множителя, и участок 2-3 – одно-

временное увеличение предэкспоненциального множителя и энергии активации проводимости. При этом точка 1 соответствует минимальной температуре 40° С, а точка 3 соответствует температуре 75° С. Испарение образца при температуре 75° С не наблюдалось. На зависимости в вакууме также наблюдается наличие двух участков: участок 1-2 на котором с уменьшением энергии активации проводимости уменьшается предэкспоненциальный множитель, и участок 2-3, на котором происходит увеличение предэкспоненциального множителя с увеличением энергии активации проводимости. При этом точка 1 соответствует минимальной температуре 40° С, а точка 3 соответствует температуре 75° С.

Интерпретация полученных результатов может быть осуществлена на основе модели двухуровневого прыжкового электропереноса [2], в рамках которой проводимость исследуемых пленок рассматривается как сумма проводимостей по параллельным каналам, обусловленным собственной системой электронных энергетических уровней безметаллового фталоцианина и примесной системой уровней адсорбированного кислорода.

В соответствии с моделью двухуровневого прыжкового электропереноса проводимость осуществляется по двум параллельным каналам – собственным и примесным электронным состояниям с радиусами локализации соответственно a_1 и a_2 . В этом случае удельная проводимость

$$\sigma = (\sigma_0)_1 \exp\left(-\frac{\alpha}{a_1 n_1^{1/3}} - \frac{\varepsilon_{a1}}{kT}\right) + (\sigma_0)_2 \exp\left(-\frac{\alpha}{a_2 n_2^{1/3}} - \frac{\varepsilon_{a2}}{kT}\right),$$

где $(\sigma_0)_1$ и $(\sigma_0)_2$ множители, зависящие от радиуса локализации; $\alpha = 1,73$ – перколяционная константа; n_1 и n_2 – концентрации центров локализации, соответствующие собственным и примесным состояниям; ε_{a1} и ε_{a2} – энергии активации собственной и примесной проводимости соответственно.

Таким образом, установлен механизм влияния адсорбированного кислорода на проводимость пленок безметаллового фталоцианина, который показывает, что электроперенос может происходить как по собственным центрам локализации материала, так и по примесным центрам локализации адсорбированного кислорода.

Список использованных источников

1. Photosensitive heterostructures made of sulfonamide zinc phthalocyanine and organic semiconductor / P. Lutsyk, Ya. Vertsimakha, S. Nespurek, I. Pomaz // *Molecular Crystals and Liquid Crystals*. – 2011. – Т. 535. – С. 18–29.
2. Влияние адсорбированного кислорода на проводимость плёнок фталоцианина свинца / А.Е. Почтенный, А.В. Мисевич // *Письма в ЖТФ*. – 2002. – Т. 29, Вып. 1. – С. 56–61

**Дятлова Е.М., к.т.н., доцент, Плышевский С.В., к.т.н., доцент,
Сергиевич О.А., к.т.н.,
УО «Белорусский государственный технологический университет»,
Шевченко А.А., к.т.н., доцент
УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»**

**ТЕРМОСТОЙКИЕ КЛАДОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ
ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ УСТАНОВОК В
АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ И КОММУНАЛЬНОМ
ХОЗЯЙСТВЕ**

Как известно, для строительства теплотехнических низкотемпературных установок и бытовых печей отопления в большинстве случаев используют строительный керамический кирпич и кладочные растворы на основе местных глин с различными добавками. Эти материалы не обеспечивают комплекс свойств, требуемый для печной кладки: термостойкость, теплопроводность, механическую прочность. В результате по данным практики по устройству и эксплуатации печей, срок службы их чаще не превышает 3 лет и требует ремонта. Кроме кирпича на качество кладки и эксплуатационные показатели низкотемпературных печей коммунального и другого назначения большое влияние оказывает кладочный раствор, который обычно получают из сухой смеси компонентов (мертеля), затворяемой водой.

Мертели, предназначенные непосредственно для кладки печей, в Республике Беларусь не выпускаются, требования к ним не регламентируются. Высокие термомеханические свойства и длительный срок службы всей кладки не могут быть достигнуты без применения термостойкого керамического кирпича и специального мертеля для него.

Целью настоящего исследования является разработка составов и технологических параметров получения термостойкого кирпича и мертеля с гармонизированными свойствами на основе отечественного сырья и изучение поведения модельной кладки «кирпич-мертель» в процессе длительного термоциклирования. Керамические массы для кирпича были синтезированы на основе сочетания тугоплавкой глины «Городное» с легкоплавкими глинами месторождений «Лукомль», «Осетки», «Гайдуковка» и каолином месторождения «Ситница» (РБ). В качестве отошающих компонентов, снижающих усадку полуфабрикатов, использовались только алюмосиликатный шамот (бой изделий) и дегидратированная огнеупорная глина. Для термостойкого кирпича нельзя применять широко известные отошители: кварцевый песок и гранитные отсеивы, что обусловлено полиморфными превращениями кварца с изменением объема, а также образованием стекловидной фазы с термическим расширением, отличающимся от керамической матрицы.

Было синтезировано 4 серии масс, в которых глинистая композиция с преобладанием тугоплавкой глины составляла 70–80 мас.%, остальное – отошающий компонент, имеющий двухфазный состав: крупная фракция (1–2 мм) и мелкая (менее 0,5 мм) в соотношении 1:1. Опытные образцы керамических материалов изготавливались по традиционной пластической технологии, обжиг проводился в электрической печи при температуре 1100–1150 °С в зависимости от состава.

Изучены физико-химические свойства синтезированных материалов и установлены их зависимости от соотношения исходных компонентов. Водопоглощение образцов находится в пределах 8,1–12,6 %, механическая прочность при сжатии 20,9–57,3 МПа, ТКЛР при 400 °С $(4,6–5,9) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$. Установлено, что опытные образцы, в составе которых содержалась в качестве отошителя дегидратированная глина, имелись большие значения водопоглощения и открытой пористости и меньшие значения механической прочности, чем при использовании алюмосиликатного шамота. В связи с этим можно сделать вывод, что в качестве отошителя целесообразно применять алюмосиликатный шамот. Результаты рентгенофазового анализа свидетельствуют о том, что основной кристаллической фазой в образцах всех серий является кварц, сопутствующими – муллит, анортит, гематит, кристобалит. Для данных керамических материалов разрабатывались составы кладочного раствора (мертеля) с повышенными термомеханическими свойствами с целью гармонизации свойств композиции «керамический кирпич-мертель-керамический кирпич».

При разработке составов термостойкого мертеля в качестве глинистых компонентов использовались те же сырьевые материалы, что и для изготовления печного кирпича при таком же массовом соотношении, что позволяет прогнозировать для кладочного раствора близкие к керамическому кирпичу термомеханические характеристики. В качестве отошающих материалов использовался шамот из боя разработанного термостойкого керамического кирпича, кроме того вводилось низкоактивное вяжущее – конвертерный шлак БМЗ и водоудерживающая добавка – продукт переработки кубового остатка производства искусственного волокна. Установлено, что кладочный раствор является холоднотвердеющим, набирает за 28 суток такую же прочность при сжатии, как известные мертели для низкотемпературных промышленных печей (1,8–5,7 МПа), а после термообработки при 800 °С имеет прочность 9 МПа и высокую термостойкость (20–25 теплосмен), а также хорошую адгезию к поверхности керамического материала. Исследование фазового состава мертеля, подвергнутого термообработке в градиентной печи при 100–800 °С, показало, что качественный фазовый состав мертеля независимо от температуры обработки идентичен и представлен в основном кварцем ($\alpha\text{-SiO}_2$), небольшими коли-

чествами гематита (Fe_2O_3) и анортита ($\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$), о чем свидетельствуют интенсивные дифракционные максимумы кварца и слабые рефлексы остальных фаз.

Исследовано поведение разработанных керамических материалов в процессе длительного термоциклирования, проводимое по режиму – нагрев образцов до 800°C , выдержка 30 мин. и резкое охлаждение в воде. Установлено, что для опытных образцов сначала наблюдается некоторое снижение водопоглощения и открытой пористости за счет продолжающихся процессов спекания при нагреве, т.к. глины месторождений «Лукомль» и «Осетки» содержат меньше кварцевых включений и более склонны к спеканию. После 15 циклов наблюдается небольшой рост показателей указанных свойств, поскольку в образцах появляются термические трещины. Все образцы выдержали 50 циклов без видимых повреждений с небольшими структурными изменениями, о чем свидетельствуют практически постоянные показатели плотности и водопоглощения образцов. Возможно, это связано с тем, что сразу происходит дальнейшее уплотнение материала за счет завершающихся процессов спекания, и залечиваются образующиеся микротрещины. Свыше указанного количества теплосмен процесс образования термических микротрещин начинает превалировать, что способствует повышению значений водопоглощения и пористости.

Исследованы кладочные композиции «керамический материал–мертель», их поведение при нагревании. Установлена взаимосвязь между составом и связующими свойствами мертелей, установлена закономерность влияния градиента температур на фазовый состав мертеля, свойства композиции «керамический материал–мертель». Разработанные кладочные материалы, обладающие комплексом термомеханических свойств, могут быть рекомендованы для организации производства термостойкого кирпича и мертеля с повышенными эксплуатационными характеристиками для кладки и ремонта низкотемпературных тепловых установок различного назначения.

Зажогин А.П., д.ф.-м.н., профессор;

Белорусский государственный университет, г. Минск

Акулич В.А., студент; Патапович М.П., к.ф.-м.н.

УО «Белорусская государственная академия связи», г. Минск

**ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КАЛЬЦИЯ И АЛЮМИНИЯ
ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЛАЗЕРНЫХ ИМПУЛЬСОВ НА ТОЧКУ
ПОВЕРХНОСТИ СТАЛИ С НЕДЕФОРМИРУЕМЫМИ
ОКСИДНЫМИ ВКЛЮЧЕНИЯМИ**

Контроль чистоты вещества и определение его состава являются одним из важнейших факторов производства в различных отраслях про-

мышленности. Одним из самых распространенных конструкционных сплавов в промышленности являются стали [1, 2]. Однако, несмотря на большой прогресс в технике спектрального анализа многокомпонентных сплавов, до сих пор не разработаны методы количественного анализа структурных неоднородностей, образующихся при кристаллизации стали, размеры которых, как правило, не превышают нескольких десятков микрометров. Предпочтительным источником возбуждения спектра для анализа структурных неоднородностей является сфокусированное лазерное излучение [1]. К преимуществам лазерной спектроскопии относится отсутствие необходимости предварительной механической и химической обработки поверхности образца. Лазерное излучение можно эффективно сфокусировать на любой точке поверхности твердого тела, что позволяет получать информацию о пространственном распределении элементов.

Вопросы, возникающие при создании оптимальных условий для проведения исследований поверхности сплавов, могут быть решены при использовании лазерного многоканального атомно-эмиссионного спектрометра LSS-1 [3]. Спектрометр включает в себя в качестве источника возбуждения плазмы двухимпульсный неодимовый лазер с регулируемой энергией и интервалом между импульсами (модель LS2131 DM). Лазер может работать с частотой повторения импульсов до 10 Гц и максимальной энергией излучения каждого из двоек импульсов до 80 мДж, на длине волны 1064 нм. Длительность импульсов ≈ 15 нс. Временной сдвиг между двоек импульсами может изменяться с шагом 1 мкс.

Лазерное излучение фокусировалось на образец с помощью ахроматического конденсора с фокусным расстоянием 104 мм. Размер пятна фокусировки примерно 50 мкм. В качестве примера на рисунке 1 показан внешний вид поверхности исследуемого образца после воздействия серии двоек лазерных импульсов.

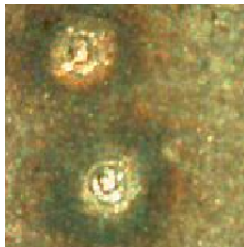


Рисунок 1 – Внешний вид поверхности образца

Была исследована динамика поступления алюминия (Al) и кальция (Ca) при воздействии двоек лазерных импульсов на точку с наличием недеформируемых оксидных включений и, для сравнения, рядом (чистое место). Основные эксперименты проводились при использовании режима двоек лазерных импульсов (энергия 34 мДж) и временной задержке между импуль-

сами 20 мкс. В качестве примера на рисунке 2 приведена динамика изменения интенсивности линий Al I (396,153 нм) и Ca II (393,367 нм) в последовательных импульсах для одной из точек поверхности.

Воздействие на образец второго импульса с задержкой 1-10 мкс, приводит к существенному увеличению поступления вещества в плазму. При задержке 20 мкс интенсивность плазмообразования уменьшается примерно в 3-4 раза. В этих условия вкрапление испаряется значительно медленнее и можно детальнее изучить распределение элементов по глубине и плоскости, что в принципе дает возможность определить и форму вкрапления.

При проведении эксперимента было установлено, что интенсивность линий Al в точке с недеформированными оксидными включениями значительно превышает интенсивность на чистом месте. По мере увеличения количества лазерных импульсов интенсивность быстро падает, приближаясь к интенсивности линий для чистого места.

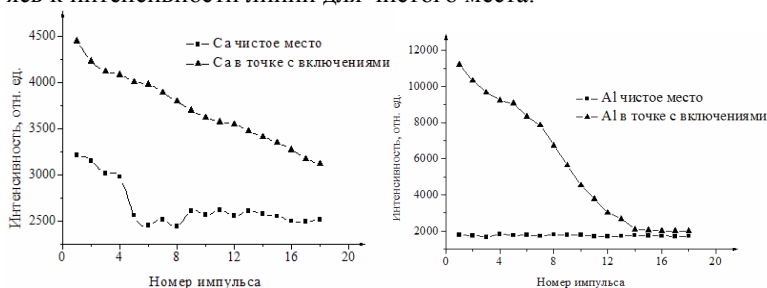


Рисунок 2 – Зависимость изменения интенсивности линий Al и Ca от номера импульса

Что касается Ca, то его интенсивность линий на чистом месте чуть меньше, чем на точке с недеформированными оксидными включениями. По мере увеличения числа последовательных импульсов интенсивность линий на чистом месте сначала незначительно падает, а затем остается примерно одинаковой.

Результаты экспериментов по сравнительному анализу содержания Al и Ca в точках с неметаллическими оксидными включениями методом лазерного атомно-эмиссионного спектрального анализа с использованием двох импульсов показали перспективность использования этого метода для анализа микродефектов в сталях.

Список использованных источников

1. Sturm V., Vrenegor J., Noll R., Hemmerlin M. // J. Anal. At. Spectrom. - 2004. – V.19. – P. 451-459.
2. Григорович К.В. // Бюллетень «Черная металлургия» - 2006. - №10. - С. 63-68.
3. Зажогин А.П., Фадаиян А.Р. // Вестник БГУ. Серия 1. – 2008. - №3. – С.15-18.

Зажогин А.П., д.ф.-м.н., профессор;
Белорусский государственный университет, г. Минск
Малец М.А., студентка; Патапович М.П.² к.ф.-м.н.
УО «Белорусская государственная академия связи», г. Минск
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ МОДИФИКАЦИИ
АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ АТОМНО-
ЭМИССИОННОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ

Дюралюминиевые сплавы, широко используемые в промышленности, обладают высокой механической прочностью. При формировании интегральных микросхем в приборостроении необходимо создание электроизоляционных слоев на поверхности алюминиевых подложек [1].

Атомно-эмиссионная многоканальная спектроскопия, как высокочувствительный аналитический метод, находит применение в различных областях исследований.

Особыми достоинствами обладает лазерная атомно-эмиссионная многоканальная спектрометрия, которая включает и локальность повреждения поверхности, и использование минимальных количеств анализируемого материала. Кроме того, имеется возможность оценить слабую зависимость процесса абляции от физико-химических свойств образца, а также существенное увеличение аналитического сигнала при использовании сдвоенных лазерных импульсов, и, наконец, возможность одновременного определения большого числа элементов [2,3].

Ряд вопросов, возникающих при создании оптимальных условий для проведения исследований модификации поверхности сплавов и одновременного экспресс-анализа удаляемых и остающихся элементов с поверхности могут быть эффективно решены при использовании лазерного многоканального атомно-эмиссионного спектрометра LSS-1, который включает в себя в качестве источника возбуждения плазмы двухимпульсный неодимовый лазер с регулируемой энергией и интервалом между импульсами (модель LS2131 DM).

Поглощение лазерного излучения существенно зависит от состояния облучаемой поверхности. Для алюминиевых сплавов всегда имеются факторы, связанные с неоднородностью самого сплава, наличием различных химических соединений, обладающих отличающимися коэффициентами поглощения [1]. На рисунке 1 приведено фото поверхности сплава после воздействия сдвоенных лазерных импульсов.

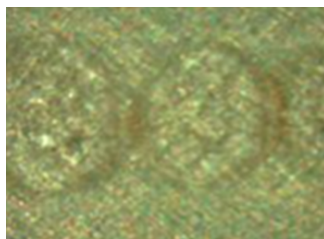


Рисунок 1 – Вид поверхности образца

В данной работе изучались процессы модификации поверхности алюминиевых сплавов, содержащих в своем составе легкоплавкие и легкоиспаряемые элементы (на примере натрия (Na) с концентрацией $2 \cdot 10^{-4} \%$) под воздействием мощных сдвоенных лазерных импульсов.

В качестве примера на рисунке 2 приведена зависимость интенсивности линий натрия от изменения плотности мощности при расфокусировке пучка.

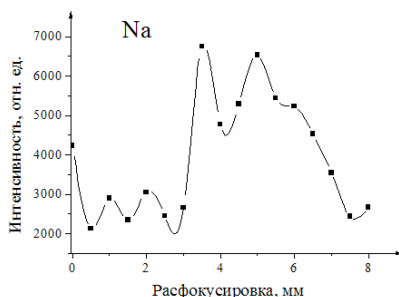


Рисунок 2 – Зависимость интенсивности линий натрия Na I ($\lambda = 588,95$ нм) от положения образца по отношению к фокусу

Исследования показали, что вблизи поверхности сплавов, содержащих в качестве компонентов легкоплавкие металлы, имеющие относительно низкие температуры кипения Na, Li, Zn, пробой эрозийного факела металлических атомарных паров происходит при небольшом превышении интенсивности лазерного излучения значением, необходимым для образования факела. При изменении пятна фокусировки количество микродефектов, к которым можно отнести и микрокристаллы зародышей кремния окруженные натрием, изменяется. Так, при начальном пятне размером примерно 50 мкм количество таких микродефектов относительно невелико. При увеличении пятна фокусировки в область облучения попадает все увеличивающееся число микродефектов, и порог пробоя воздуха у поверхности образца значительно понижается. На реальной поверхности всегда имеется совокупность дефектов, следовательно, при конкретной

форме лазерного импульса, имеющего определенную длительность, всегда найдется дефект или группа дефектов, обеспечивающие получение затравочных центров кипения и испарения.

Исследование процессов эрозии и модификации поверхности натрий содержащих алюминиевых сплавов показало, что обеднение поверхности натрием при воздействии сдвоенных лазерных импульсов весьма существенно. Если воздействие сдвоенных лазерных импульсов позволяет уменьшить поверхностную концентрации легкоплавких элементов и повысить чистоту поверхностного слоя, то воздействие других мощных пучков в большинстве случаев действует в обратном направлении.

Список использованных источников

1. Чуфистов О.Е., Симцов В.В., Якушев Д.А.// Научная сессия МИФИ-2001. Сб. научных трудов. В 14 частях. Ч.9. М.: МИФИ. – 2001 – С. 40.
2. Уваров В.В., Клепиков В.Ф., Литвиенко В.В. и др. // Вопросы атомной науки и техники. - 2003 - №6 - С.120.
3. Sturm V., Vrenegor J., Noll R., Hemmerlin M.// J. Anal. At. Spectrom. - 2004. – V.19. – P. 451-459.

**Бушинский М.В., к.ф.-м.н., Терешко Н.В., к.ф.-м.н.,
Чобот А.Н., к.ф.-м.н., Мантыцкая О.С., к.ф.-м.н.,
НПЦ НАН Беларуси по материаловедению, Минск
Чобот Г.М., к.ф.-м.н., доцент, Добрянский В.М., д.т.н., профессор
Белорусский государственный аграрный технический университет,
Минск**

УПРУГИЕ СВОЙСТВА И МАГНИТНОЕ СОСТОЯНИЕ ПЕРОВСКИТА $\text{Sr}_{1-x}\text{Y}_x\text{CoO}_{3-\delta}$ ($x=0.2$)

Развитие альтернативных способов преобразования энергии требует поиска новых материалов, необходимых для практической реализации этих способов. Возможность широкого применения сложных оксидов кобальта в качестве термоэлектрических материалов обусловлена наличием в этих материалах тесной связи между магнитными и транспортными свойствами [1]. Относительно недавно был получен класс аниондефицитных слоистых кобальтитов с химической формулой $\text{Sr}_3\text{LnCo}_4\text{O}_{10.5+\delta}$. Кристаллическая структура этих перовскитов состоит из чередующихся аниондефицитных слоев $\text{CoO}_{4+\delta}$ и стехиометрических по кислороду слоев CoO_6 , соприкасающихся вершинами октаэдров [2-3]. Этот класс соединений характеризуется сравнительно высокой температурой магнитного упорядочения и наличием небольшой спонтанной намагниченности, причина появления которой является предметом дискуссии [4]. Вопрос о том, сопровождается ли магнитное упорядочение структурным переходом и какова его роль в реализации ферромагнитной компоненты остается открытым.

Проведено исследование упругих и магнитных свойств слоистого кобальтита $\text{Sr}_{0.8}\text{Y}_{0.2}\text{CoO}_{3-\delta}$. Исследование температурной зависимости модуля Юнга образца этого состава методом резонансных колебаний в интервале частот 1-10 кГц позволило обнаружить четко выраженный минимум при температуре 375 К (рис.1). Кроме того, при данной температуре наблюдалось резкое уменьшение амплитуды резонансных колебаний, что свидетельствует о наличии кристаллоструктурного фазового перехода.

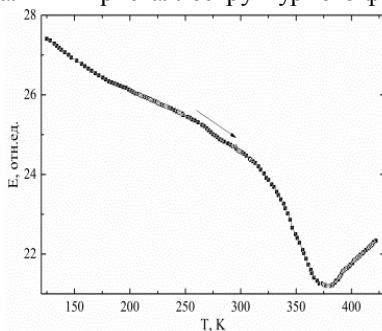


Рис. 1. Температурная зависимость модуля Юнга $\text{Sr}_{0.8}\text{Y}_{0.2}\text{CoO}_{3-\delta}$

Нейтроннографические исследования, проведенные при температурах 10 и 400 К, представлены на рисунке 2. Установлено, что магнитная структура исследуемого образца является антиферромагнитной структурой G-типа. Температура Нееля составляет около 375 К (вставка на рис. 2), т.е. температура кристаллоструктурного фазового превращения совпадает с температурой магнитного упорядочения.

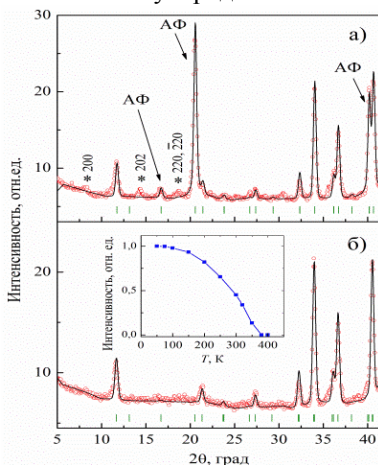


Рис. 2. Нейтроннограммы $\text{Sr}_{0.8}\text{Y}_{0.2}\text{CoO}_{3-\delta}$, записанные при 10К и 400К

Температурная зависимость удельного электросопротивления имеет полупроводниковый характер (рис. 3). При 5 К оно составляет 10^4 Ом*см. Магнитосопротивление мало и равно примерно 5% при 25 К в полях 1 и 13Тл.

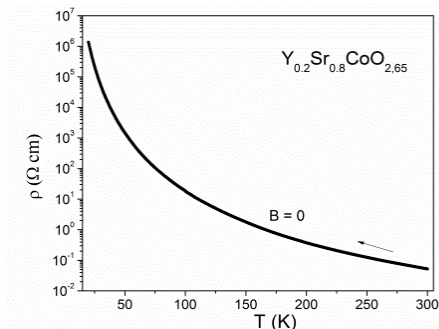


Рис. 3. Зависимость удельного сопротивления от температуры

Таким образом, в результате исследования магнитных и упругих свойств слоистого кобальтита $\text{Sr}_{0.8}\text{Y}_{0.2}\text{CoO}_{3-\delta}$ установлено, что при температуре 375 К в нем происходит структурное и магнитное фазовое превращение. $\text{Sr}_{0.8}\text{Y}_{0.2}\text{CoO}_{3-\delta}$ имеет антиферромагнитную структуру G-типа. Большое удельное электросопротивление и малое магнитосопротивление указывают на хорошую стабильность полупроводникового антиферромагнитного состояния данного состава.

Список использованных источников

1. Особенности спинового, зарядового и орбитального упорядочений в кобальтитах / Н.Б. Иванова [и др.] // УФН. – 2009. – Т. 179, №8. – С. 837-860.
2. Магнитные превращения в системе $\text{Sr}_{0.78}\text{Y}_{0.22}\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_{3-\gamma}$ со структурой типа перовскита / И.О. Троянчук [и др.] // ЖЭТФ. – 2009. - № 135. - С. 490 – 497.
3. Correlation of chemical coordination and magnetic ordering in $\text{Sr}_3\text{YCo}_4\text{O}_{10.5+\delta}$ ($\delta=0.02$ and 0.26) / D. V. Sheptyakov [et al.] // Phys. Rev. B. – 2009. - Vol. 80. – P. 024409-1 – 024409-10.
4. Troyanchuk, I.O. Effect of iron doping on magnetic properties of $\text{Sr}_{0.78}\text{Y}_{0.22}\text{O}_{2.65+\delta}$ - layered perovscite / I.O. Troyanchuk, D.V. Karpinsky, A.P. Sazonov // J. Mater. Sci. – 2009. - Vol. 44. – P. 5900 – 5908.

Королевич М.В., д.ф.-м.н., доцент
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь
СТРУКТУРА И СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕТИЛ-
И НИТРОПРОИЗВОДНЫХ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ
ГЛЮКОПИРАНОЗИДОВ

Ключевые слова: ИК спектроскопия, анализ нормальных колебаний, метил- и нитропроизводные глюкопиранозидов.

Работа демонстрирует эффективность использования теоретической колебательной спектроскопии и квантовой химии при установлении спектро-структурных корреляций для нитро- и метил- производных кристаллических глюкопиранозидов. Результаты расчетов позволили выявить спектроскопические признаки заместителей гидроксильных групп и оценить их характеристичность. Выяснены спектро-аналитические возможности использования этих признаков.

Систематическое исследование в рамках одного метода большого ряда соединений одного класса с постепенно усложняющейся структурой молекул является весьма эффективным средством установления закономерностей, связывающих колебательные спектры со строением молекул. Такие исследования, проводимые на основе корректно построенной теоретической модели, приводят не только к адекватной интерпретации имеющихся экспериментальных данных, но и позволяют предсказывать спектро-структурные свойства соединений.

В данной работе представлены результаты исследования, нацеленного на установление природы спектроскопических признаков оксиметильных групп в ИК спектрах практически важных соединений метил-β-D-глюкопиранозидов и нитратов β-D-глюкопиранозидов и выяснение спектроаналитических возможностей использования этих признаков при исследовании структуры производных моносахаридов.

Поставленная задача состояла в последовательном проведении полных расчетов ИК спектров следующих объектов с постепенно усложняющейся структурой: метил-β-D-глюкопиранозид (1Me), 4-O-метил-β-метил-D-глюкопиранозид (4Me1Me), 4-O-метил-2,3-ди-O-нитро-метил-β-D-глюкопиранозид (4Me2,3диНМГ), 4-O-метил-2,3,6-три-O-нитро-метил-β-D-глюкопиранозид (4Me2,3,6триНМГ). Для расчетов использован оригинальный программный комплекс [1], комбинирующий классический анализ частот нормальных колебаний с квантово-химическим вычислением абсолютных интенсивностей ИК полос поглощения. При выполнении поставленной задачи анализировались экспериментальные ИК спектры кристаллических образцов β-D-глюкозы, 1Me, 2,3диНМГ и 4Me2,3,6триНМГ [2]. Теоретиче-

ские спектры исследуемых соединений получены путем моделирования и сложения контуров индивидуальных полос, описываемых функцией Гаусса.

На основе сопоставления результатов согласованных расчетов частот нормальных колебаний и интенсивностей ИК полос поглощения с соответствующими экспериментальными данными для исследуемого ряда избирательно замещенных глюкопиранозидов выявлены спектроскопические признаки оксиметильной группы у атома C₍₁₎ в 1Ме и установлена их характеристичность при введении дополнительного оксиметильного заместителя.

Детально изучены валентные колебания метильных CH₃, метиленовых CH₂ и метинных CH групп 1Ме, 4Ме1Ме, 2,3,диНМГ, 2,3,6триНМГ и 4Ме2,3,6триНМГ и объяснены спектральные изменения в области проявления этих колебаний 3020–2800 см⁻¹ при избирательном метил- и нитро-замещении в β-D-глюкозе. Показано, что в спектрах производных глюкопиранозидов при переходе от одного соединения к другому наблюдаемые в области 3020–2880 см⁻¹ частотные сдвиги сложных полос, обусловленных высоко характеристичными по частоте и форме валентными СН колебаниями, могут быть связаны с изменением интенсивностей колебаний при постоянстве их частот (рисунок 1). Неизменной по расположению при избирательном замещении остается полоса симметричных валентных СН колебаний метильных групп при 2853 см⁻¹, интенсивность которой аддитивно возрастает с увеличением количества метильных заместителей.

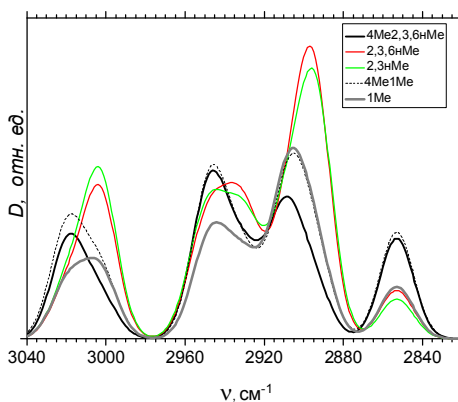


Рисунок 1 – Теоретические ИК спектры поглощения 4Ме2,3,6нМе, 2,3,6нМе, 2,3нМе, 4Ме1Ме и 1Ме в диапазоне 3040–2820 см⁻¹

Детальная интерпретация характерных спектральных признаков производных глюкопиранозидов имеет большое практическое значение, поскольку непосредственно связана с идентификацией соединений и направленным изменением их практически ценных свойств.

Список использованных источников

1. Королевич М.В. Аналитическая инфракрасная спектроскопия сахаридов: Дисс. ... д-ра физ.-мат. наук. – Минск, 2009. – 333 с.
2. Королевич М.В., Андрианов В.М., Чернявский В.В., Болодон В.Н., Ветрова В.Т., Быкова С.Л. Автоматизированный компьютерный анализ спектро-структурных корреляций сложных органических соединений // Материалы международной научно-технической конференции «Энергосбережение – важнейшее условие инновационного развития АПК», Минск, 23-24 ноября 2017 года, с. 321-323. – Минск: БГАТУ, 2017.

**Королевич М.В., д.ф.-м.н., доцент, Андрианов В.М., д.ф.-м.н.,
Болодон В.Н., к.биол.н., доцент, Быкова С.Л.,
Дымонт В.П., к.ф.-м.н., доцент**

***УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь***

КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БАЗ ДАННЫХ И ТЕОРЕТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ИК СПЕКТРОСКОПИИ ДЛЯ УСТАНОВЛЕНИЯ СТРОЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

Ключевые слова: ИК спектроскопия, анализ нормальных колебаний, структура сложных органических соединений.

Представлена методика комплексного эмпирического и теоретического компьютерного моделирования ИК спектров сложных органических соединений на основе аналогии фрагментных составов структур и расчетов частот и интенсивностей нормальных колебаний, заложившая основы спектроскопической информационной системы нового поколения, позволяющей эффективно решать задачи прогноза строения соединения и его спектральных свойств с аргументированной интерпретацией получаемого результата.

Данная работа иллюстрирует возможность практического использования разработанных методов теоретического моделирования спектров [1] в интегрированной компьютерной информационной системе (ИС) для решения прямых и обратных задач по ИК спектроскопии.

В последнее время для диагностики веществ наряду с традиционными приемами, основанными на корреляционных таблицах, все шире применяются компьютерные спектроскопические системы, содержащие крупномасштабные базы данных (БД) о спектрах соединений. Они позволяют идентифицировать анализируемое вещество, если его спектр есть в БД. Однако число существующих органических соединений намного больше (на несколько порядков) объема имеющихся БД, а структура многих при-

родных соединений все еще неизвестна. Отсутствие в этих системах средств прогноза спектров для множества предполагаемых структур не позволяет сделать выбор наиболее правдоподобной структуры, сдерживает развитие самих систем и ограничивает область их использования.

Исследования, проводимые нами совместно с Новосибирским Институтом органической химии СО РАН, привели к созданию ИС «ИК ЭКСПЕРТ» нового поколения, основанной на использовании БД «спектр – фрагментный состав» соединений и согласованном применении взаимодополняющих методов эмпирического и теоретического моделирования ИК спектров сложных соединений.

Уникальность этой системы состоит: во-первых, в наличии в ее базе данных не только большого числа (многих десятков тысяч) спектров органических соединений, но и спектральных признаков большого количества (~110000) структурных фрагментов молекул, которые составляют основу строения огромного числа органических соединений; во-вторых, в разработке оригинальной системы манипулирования этими данными для определения строения веществ по их ИК спектрам и, наоборот, ИК спектра соединения по известному строению молекул. Спектральный поиск по заданному спектру с помощью «ИК ЭКСПЕРТ» позволяет решать не только традиционную задачу идентификации вещества, но и ряд более сложных, например, установление особенностей строения соединения, не представленного своими записями в БД.

Блок-схема системы комплексного эмпирического и теоретического моделирования ИК спектров органических соединений представлена на рисунке 1. Система эмпирического моделирования (путь А, рисунок 1) позволяет решать следующие основные задачи: проводить поиск спектральных аналогов; анализировать структуры отбираемых при этом соединений; формировать списки наиболее вероятных структурных фрагментов исследуемого соединения; моделировать ИК спектры гипотетических структур с целью сопоставления со спектром изучаемого соединения. Окончательный выбор структуры среди вероятных (предполагаемых) может быть сделан на основе проверки соответствия моделированных спектров экспериментальному (путь Б, рисунок 1). Метод расчета спектра выбирают в зависимости от сложности структуры соединения и характера спектра.

Достоинства и результативность созданной ИС будут возрастать с дальнейшим ростом БД типа «ИК спектр – структура соединения». Она найдет практическое применение при изучении строения и свойств соединений, в аналитической практике служб контроля и охраны окружающей среды, контроля технологических процессов, создания новых видов материалов и продуктов медицинских, пищевых, химических производств и т.п.

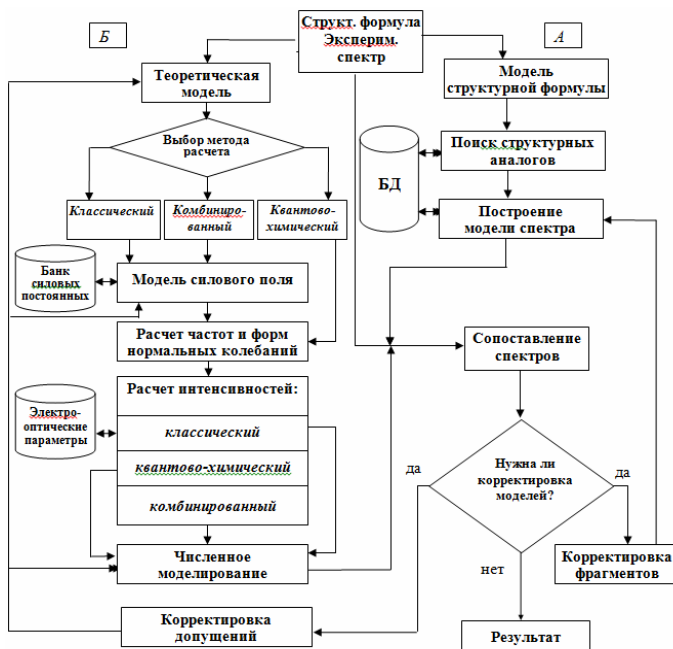


Рисунок 1 – Блок-схема системы комплексного эмпирического и теоретического моделирования ИК спектров органических соединений

Список использованных источников

1. Королевич М.В. Аналитическая инфракрасная спектроскопия сахаридов: Дисс. ... д-ра физ.-мат. наук. – Минск, 2009. – 333 с.

Мисевич А.В., к.ф.-м.н., доцент; Лаппо А.Н., ассистент
Учреждение образования «Белорусский государственный
технологический университет»

Долгий В.К., к.ф.-м.н., доцент
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь
ФОТОВОЛЬТАИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В ГЕТЕРОСТРУКТУРЕ
НА ОСНОВЕ ФТАЛОЦИАНИНА МЕДИ И ПЕРИЛЕНА

В последние годы интенсивно изучаются возможности применения органических материалов и сопутствующих им технологий для создания солнечных элементов, светоизлучающих диодов, химических сенсоров и элементов молекулярной электроники [1–3].

В данной работе исследуются фотоэлектрические свойства гетероструктуры на основе фталоцианина меди (CuPc) и N,N'-диметилдимида перилентетракарбоновой кислоты (перилен). Фталоцианин меди имеет дырочную проводимость и полосы поглощения в красно-оранжевой области спектра, а перилен – электронный тип проводимости и полосы поглощения в сине-зеленой области спектра. Дополнительной целью исследования являлось изучение влияния на фотоэлектрические свойства гетероструктуры кислорода адсорбированного из окружающей среды.

Для изготовления гетероструктур использовались стеклянные подложки, на которые был предварительно нанесен прозрачный проводящий слой окислов индия и олова (ITO). Поверх ITO методом термического распыления в вакууме ($\sim 5 \cdot 10^{-3}$ Па) осаждались слои CuPc толщиной ~ 50 нм, слой перилена толщиной ~ 50 нм и верхний полупрозрачный золотой (Au) электрод толщиной ~ 50 нм. Все слои гетероструктуры напылялись последовательно без нарушения вакуума. Скорость осаждения составляла: для CuPc и перилена около 0,01 нм/с, а для пленки золота – около 0,3 нм/с.

При измерении спектров фото-ЭДС и фотопроводимости в качестве источника монохроматического излучения использовался монохроматор спектрофотометра SPECORD M40, а фото-ЭДС и фототок измерялись электрометром В7Э-42.

На рис. 1 представлены оптические спектры поглощения гетероструктуры и отдельных слоев органических материалов – CuPc и перилена. CuPc два максимума поглощения при 690,6 и 615 нм, перилен – два пика при 571 и 476,7 нм. Спектр поглощения гетероструктуры образуется путем наложения спектров поглощения отдельных материалов.

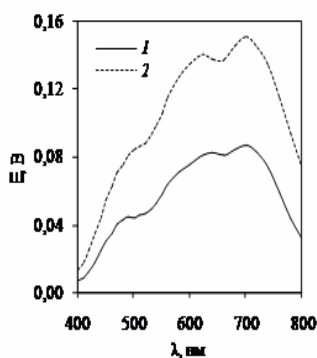


Рис. 1. Спектры поглощения гетероструктуры (1), N,N'-диметилдимида перилентетракарбоновой кислоты (2), фталоцианина меди (3)

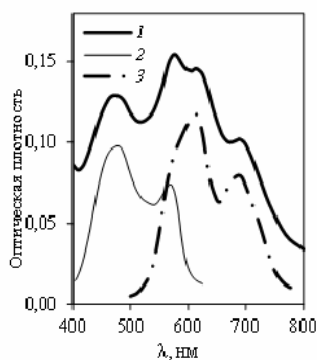


Рис. 2. Спектры фото-ЭДС гетероструктуры при освещении через золото (1) и через ITO (2)

На рис. 2 приведены спектры фото-ЭДС для гетероструктуры CuPc – перилен. Наблюдается различная величина фото-ЭДС для излучения одной длины волны при освещении через слой полупрозрачного золотого электрода и через слой ИТО. Максимумы фото-ЭДС отмечаются при длинах волн, соответствующих максимумам поглощения CuPc и перилена.

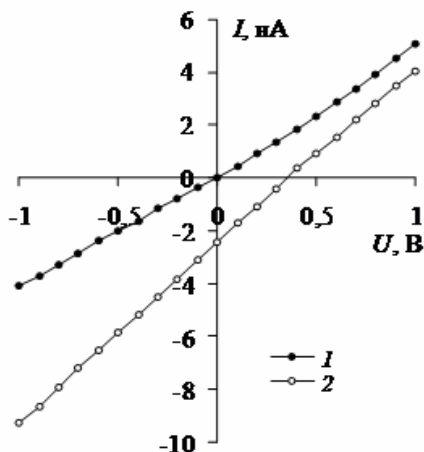


Рис. 3. Вольт-амперная характеристика для гетероструктуры Au/перилен/CuPc/ITO, измеренная в темноте (1) и при освещении

Вольт-амперные характеристики гетероструктуры при освещении и в темноте представлены на рис. 3. Изменение наклона графика при освещении свидетельствует о наличии фотофотопроводимости. Световая вольт-амперная характеристика не проходит через начало координат, что указывает на наличие фото-ЭДС гетероперехода около 0,35 В.

Таким образом, двухслойные гетероструктуры на основе фталоцианина меди и перилена обладают увеличенными светочувствительной областью и спектральной шириной области преобразования излучения по сравнению с однослойными элементами на основе барьера Шоттки.

Изучение влияния адсорбированного кислорода на электрофизические свойства гетероперехода перилен/фтало-цианин меди показало, что при увеличении концентрации кислорода на границе раздела перилен/CuPc происходит уменьшение фото-ЭДС, тогда как фотопроводимость органических слоев сохраняется.

Список использованных источников

1. Photosensitive heterostructures made of sulfonamide zinc phthalocyanine and organic semiconductor / P. Lutsyk, Ya. Vertsimakha, S. Nespurek, I. Pomaz // *Molecular Crystals and Liquid Crystals*. – 2011. – Т. 535. – С. 18–29.
2. Electrical transport in crystalline perylene derivatives films for electronic devices / A. Stanculescu, M. Socol, O. Grigorescu, F. Stanculescu // *Solid State Sciences*. – 2008. – Т. 10, № 12. – С. 1762–1767.
3. Optical and photoelectric properties of heterostructures of fullerene C60 with phthalocyanines and tetracyanoquinodimethane (TCNQ) / M.P. Gorishnyi, O.V. Koval'Chuk, A.B. Verbitsky et al. // *Molecular Crystals and Liquid Crystals*. – 2011. Т. 535. – С. 49–56.

**Мисевич А.В., к.ф.-м.н., доцент; Лаппо А.Н., ассистент
Учреждение образования «Белорусский государственный
технологический университет»**

**Долгий В.К., к.ф.-м.н., доцент
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь**

ВЛИЯНИЕ АДСОРБИРОВАННОГО КИСЛОРОДА НА ФОТОПРОВОДИМОСТЬ ПЛЕНОК ФТАЛОЦИАНИНА СВИНЦА

Пленки фталоцианинов являются перспективными материалами при разработке газовых сенсоров, солнечных батарей, светоизлучающих диодов. Существенное влияние на процессы переноса электронов в пленках фталоцианинов оказывает адсорбированный атмосферный кислород [1], что сдерживает возможности прогнозирования и оптимизации свойств элементов органической электроники на основе этих материалов. Целью данной работы является изучение влияния адсорбированного кислорода на фотопроводимость пленок фталоцианина свинца (PbPc) и определение вклада собственных и примесных состояний в процесс фотопроводимости.

Пленки PbPc толщиной 100 нм были осаждены на подложки из поликора со встречно-штыревой системой электродов методом лазерного распыления в вакууме. Скорость осаждения пленок составляла порядка 1 нм/с. Исследование пленок методами сканирующей зондовой микроскопии показало, что пленки PbPc являются поликристаллическими с характерным размером зерен около 50 нм.

При измерениях фотопроводимости поверхность пленок освещалась красным светодиодом ($\lambda = 660$ нм), что соответствует области собственного поглощения PbPc. Температурные зависимости проводимости и фотопроводимости измерялись в вакууме при давлении 10^{-2} Па с использованием метода циклической термодесорбции [2].

Удельная проводимость σ фталоцианинов зависит от температуры T как

$$\sigma = \sigma_0 \cdot \exp\left(-\frac{E_a}{kT}\right) \quad (1)$$

где σ_0 – предэкспоненциальный множитель; E_a – энергия активации проводимости, k – постоянная Больцмана. Измеренный при термодесорбции набор температурных зависимостей позволяет определить значения σ_0 и E_a , соответствующие различным концентрациям адсорбированного кислорода.

Данные, полученные при увеличении температуры термодесорбции от 40 до 140°C, представлены на рис. 1. Результаты по темновой проводимости, показывают, что по мере десорбции кислорода вначале (интервал A–B на графике) наблюдается увеличение, как энергии активации проводимо-

сти, так и предэкспоненциального множителя σ_0 , что соответствует увеличению концентрации центров локализации, обеспечивающих прыжковый электроперенос. Затем, по достижении некоторой критической концентрации адсорбированного кислорода (точка *B* на графике), дальнейшее уменьшение этой концентрации уменьшает значения E_a и σ_0 (интервал *B–C*), т.е. концентрация центров локализации уменьшается.

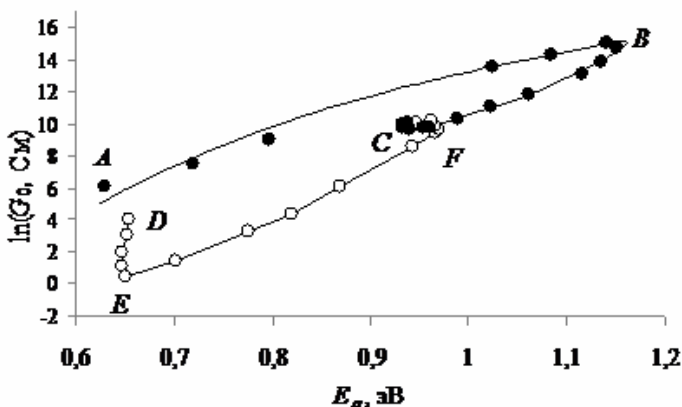


Рис. 1. Взаимосвязь между предэкспоненциальным множителем σ_0 и энергией активации проводимости E_a пленок PbPc

Анализ полученных для темновой проводимости данных, проведенный на основе двухуровневой модели прыжковой проводимости [2], показывает, что в пленках фталоцианина свинца при высоких концентрациях адсорбированного кислорода проводимость осуществляется по собственным центрам локализации, а при десорбции кислорода происходит переход к проводимости по примесным центрам локализации. Результат расчета связи между величинами E_a и σ_0 приведен на рис. 1 в виде сплошной линии.

Измерения фотопроводимости пленок PbPc, представленные на рис 1, показывают, что при десорбции кислорода сначала на участке *D–E* происходит уменьшение предэкспоненциального множителя σ_0 , но энергия активации фотопроводимости E_a при этом не изменяется. Затем на участке *E–F* при дальнейшем уменьшении концентрации адсорбированного кислорода предэкспоненциальный множитель σ_0 и энергия активации фотопроводимости E_a начинают увеличиваться. Эти результаты также находят свое объяснение в рамках двухуровневой модели прыжковой проводимости. Фотопроводимость в отличие от темновой проводимости не лимитирована энергией активации, так как фотовозбуждение делает доступными для электропереноса, как собственные, так и примесные центры локали-

зации. Поэтому электроперенос в данном случае происходит по тем центрам локализации, концентрация которых больше, т. е. при высоких концентрациях адсорбированного кислорода проводимость – примесная, а при десорбции происходит переход к собственной проводимости. По мере нагревания образца идет возрастание темновой проводимости, и вклад фотопроводимости в общую проводимость уменьшается. При некоторой достаточно высокой температуре близкой к 140°C темновая проводимость возрастает на столько, что энергия активации и предэкспоненциальный множитель в темноте и при освещении практически не отличаются.

Список использованных источников

1. Симон, Ж. Молекулярные полупроводники / Ж. Симон, Ж.-Ж. Андре – М.: Мир, 1988. – 342 с.
2. Почтенный, А. Е. Влияние адсорбированного кислорода на проводимость пленок фталоцианина свинца / А.Е. Почтенный, А.В. Мисевич // Письма в ЖТФ. – 2003. – Т. 29, № 1. – С. 56–61.

Михалкович О.М.,

*Белорусский государственный педагогический университет
им. М. Танка*

Куликаускас В.С. к.ф.-м.н.,

*НИИ Ядерной физики им.Д.В. Скобелевича МГУ М.В. Ломоносова,
Москва Россия*

С.М. Барайшук к.ф.-м.н., доцент

*Белорусский государственный аграрный технический университет,
Минск*

СОСТАВ И СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТИ МОЛИБДЕНОВОЙ ПЛЕНКИ, СФОРМИРОВАННОЙ НА СТЕКЛЕ МЕТОДОМ ОПАСИ

Введение. Одним из перспективных методов модифицирования свойств поверхности является осаждение пленок, ассистированное собственными ионами (ОПАСИ) [1]. Оно позволяет формировать тыльные контакты солнечных элементов [2].

Результаты и обсуждение. Выбор молибдена для нанесения пленки обусловлен следующими факторами: хорошая адгезия к поглощающему слою, возможность создания омического контакта с поглощающим слоем р-типа проводимости, низкое удельное сопротивление, высокая температура плавления, химическая устойчивость к наносимым веществам. Пленка молибдена создает центры роста зерен поглощающего слоя [2]. Для управления свойствами покрытий при их осаждении на подложку необходима диагностика поверхности конструкции покрытие/подложка. В настоящей работе обсуждаются результаты изучения композиционного состава, топографии и смачиваемости дистиллированной водой поверхности Мо пленка/стеклянная

подложка, полученных методом ОПАСИ. Контактный слой на поверхности стекла формировался осаждением Мо пленки при ускоряющем потенциале на мишени в 10 кВ, при давлении в вакуумной камере в 10^{-2} Па. Скорость осаждения покрытий составляла 0,1-0,2 нм/мин. Элементный послойный анализ конструкций покрытие/подложка выполняли используя Резерфордское обратное рассеяние (РОР) ионов He^+ с энергией 1,7 МэВ ($\Delta E=25$ кэВ) и геометрий рассеяния 0° , 10° , 20° , 30° и компьютерное моделирование экспериментальных спектров РОР по программе RUMP.

На поверхности стекла формируется тонкая пленка толщиной ~ 50 нм. В состав покрытий кроме атомов самого наносимого металла входят атомы О, С и Н, а также атомы Si, Na и Ca, появившиеся в покрытии в результате встречной диффузии. Концентрация атомов Мо в покрытии составляет 6 ат %, 0,2 ат % вблизи границы раздела пленка/подложка и порядка 0,01 ат % на глубине максимального проникновения в подложку, составляющей порядка 160 нм. Концентрация атомов О в покрытии составляет 11 ат %, углерода – 20 ат %, водорода – 60 ат %. Атомы Na и Ca входят в состав покрытия лишь вблизи (~ 20 нм) границы раздела покрытие/подложка с концентрациями 1 ат % и 0,1 ат % соответственно. Кремний же входит в покрытие с концентрацией ~ 2 ат % по всей толщине. Аналогичные по составу покрытия были получены также при осаждении пленок различных металлов на кремний методом ОПАСИ.

При изучении топографии систем пленка/стеклянная подложка и стекла без пленки и определении ее параметров были выбраны площадки размером 5×5 мкм². По 3D - изображению топографии поверхности молибденовой пленки на рис. 2 можно судить, что на стекле формируется поверхность высокого качества. Значение средней шероховатости (R_a) при этом составляет 0,4 нм.

Изменяя условия нанесения молибдена мы получали пленки различной толщины и с разными значениями шероховатости и РКУС.

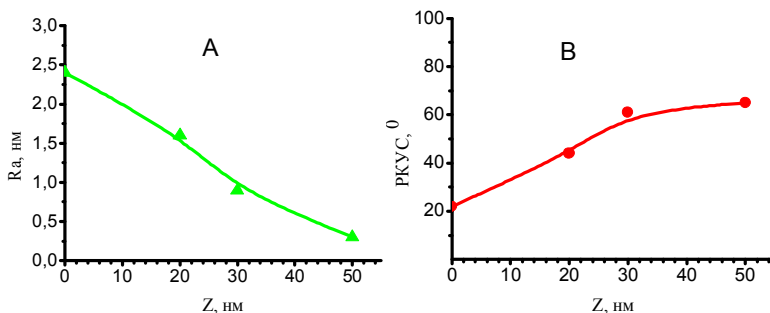


Рис. 1. А – зависимость шероховатости поверхности Мо пленки от толщины осажденной пленки, В – зависимость РКУС поверхности Мо пленки от толщины осажденной пленки.

Как видно из представленных зависимостей, изменяя условия нанесения пленки, тем самым варьируя толщиной пленки, можно управлять шероховатостью поверхности и ее смачиваемостью в пределах от 22° до 65°.

Заключение. Таким образом метод осаждение покрытий в условиях ассистирования собственными ионами позволяет получать покрытия для тыльных контактов солнечных элементов с хорошо воспроизводимым составом и заданными свойствами.

Список использованных источников

1. И.С. Ташлыков, И.М. Белый. Патент РБ №2324. 1C1 ВУ, C23 C4/12. C4/18, C14/16. Оpubл. 1999. офиц. бюл. гос. пат. ведом. РБ №1.
2. С.М. Барайшук, В.Ф. Гременок, В.В. Тульев, И.С. Ташлыков. // ФХОМ. – 2011. – 1. – С. 66.

**Рагимов Р.Н. д.ф.-м.н., Д.Г. Араслы, А.А. Халилова к.ф.-м.н.,
Институт Физики НАН Азербайджана, Баку, Азербайджан**

**Барайшук С.М. к.ф.-м.н., доцент
Белорусский государственный аграрный технический университет,
Минск**

ТОПОГРАФИЯ ПОВЕРХНОСТИ ТОНКИХ ПЛЕНОК ЭВТЕКТИЧЕСКОГО КОМПОЗИТА GaSb-CrSb

Аннотация. В работе представлены результаты изучения микроструктуры, рельефа поверхности; подтверждена равномерность нанесения покрытий, оценена толщина наносимого покрытия методом атомно - силовой микроскопии тонких пленок полупроводникового эвтектического композита GaSb-CrSb.

Введение. Эвтектические композиты состоящие из полупроводниковой матрицы основе соединений III-V групп и включений переходных металлов, представляют интерес из-за сохранения микроструктуры до температуры плавления, повторяемости и стабильности характеристик. Такие эвтектические композиты ведут себя как неоднородные и вырожденные полупроводники, а их физические свойства существенно зависят от электронной конфигурации и геометрии включений и особенностей формирования межфазных зон и перспективны для создании инжекторов спин-поляризованных электронов.

Результаты и обсуждение. Тонкие пленки эвтектического композита GaSb-CrSb получены методом «мгновенного испарения» и имели толщину в пределах 0.4÷1.0 мкм.

Исследованная микроструктура (рис.1 а) и элементный состав (рис. 1 б) тонких пленок GaSb-CrSb, выполненный сканирующим микроскопом FEI Quanta FEG в сочетании со спектрометрией EDS system - Oxford Inca X-act позволили не только определить элементный состав приповерхност-

ного слоя толщиной 1 мкм. Полученные данные указывают на идентичность состава пленочных покрытий и массивных образцов, чей состав изучали ранее в работе [1].

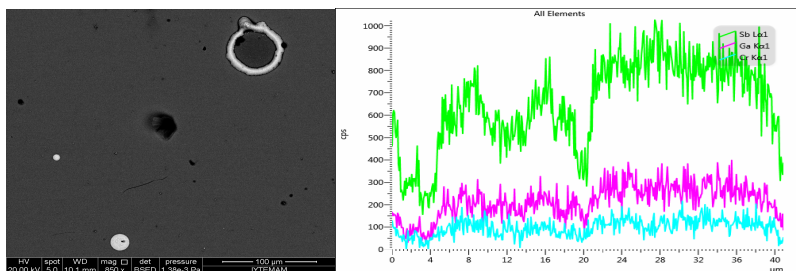


Рис.1. Микроструктура (а) и элементный состав (б) тонкой пленки композита GaSb-CrSb

Топография поверхности исследуемых тонких пленок изучена на многофункциональном атомном силовом микроскопе Nt-206 Microtestmachines в контактном режиме. Обработка полученных данных произведена с помощью программы «SurfaceXplorer» по методике, описанной в [2].

АСМ-исследования показали, что поверхность тонких пленок эвтектического композита GaSb-CrSb имеет развитый рельеф. На поверхности АСМ-изображений наблюдаются равномерно распределенные структурные образования округлой формы, диаметр которых, составляет 0,3-0,5 мкм в основании, при высоте от 50 до 100 нм, что хорошо согласуется с данными СЭМ (рис. 2). Концентрация поверхностных элементов достигает 50 мкм^{-2} .

Средняя арифметическая шероховатость поверхности, усредненная по 5 различным площадкам, при указанном выборе площадки составляет $Ra=5.4 \text{ нм}$, среднеквадратичная $Rq=9.8 \text{ нм}$. Отношение полной площади поверхности к проективной составляет 1.16. По АСМ данным вычислена мультифрактальная размерность поверхности методом горизонтальных сечений (площадь–периметр). При вычислении фрактальной размерности учитывалось систематическое отклонение, характерное для метода горизонтальных сечений [3]. Анализ исследованных площадок по 500 подслоям дает среднее значение фрактальной размерности 2.78.

На больших площадях сканирования – $20 \times 20 \text{ мкм}^2$, характерно отсутствие сколь либо значительных по размеру периодических структур, однако наблюдается появление отдельных вкраплений размером от 0.3 до 1.5 мкм и высотой до 150 нм (рис.2). Значения средней арифметической и среднеквадратичной шероховатости для данного размера площадок $Ra=17.3 \text{ нм}$ и $Rq=22.2 \text{ нм}$, соответственно. Значение фрактальной размерности исследованных площадок несколько выше в сравнении с основным рельефом и достигает 2.92, что говорит о развитой «объемной» поверхно-

сти. Это подтверждает высокое качество поверхности и достаточно высокую равномерность нанесения покрытий.

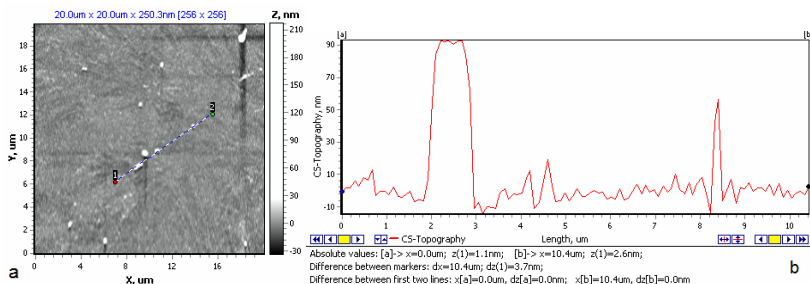


Рис.2. Топография поверхности (а), профиль сечения вдоль линии 1-2 (б) пленки композита GaSb-CrSb.

Заключение. Изучены микроструктура, рельеф поверхности тонких пленок полупроводникового эвтектического композита GaSb-CrSb. При помощи АСМ проведена оценка толщины нанесенного покрытия 0.8-0.9 мкм, что согласуется с ранее полученными данными. Низкая средняя шероховатость поверхности позволяет говорить о высоком качестве и равномерности наносимого покрытия.

Список использованных источников

1. Rahimov R.N., Kazimov M.V. et al., Features of Thermal and Electrical Properties of GaSb-CrSb eutectic composite. Journal Ovonic Research, 2017, Vol.13, No. 3, pp. 113 – 118.
2. Tashlykov I.S., Baraishuk S.M. Elemental composition, topography, and wettability of the surface of graphite modified by ion-assisted deposition of chromium coatings, Russian Journal of Non-Ferrous Metals. 2008, V. 49. N 4, P. 303-307.
3. Almqvist N. Fractal analysis of scanning probe microscopy images. Surface Science. –1996 (355), 221-228.

Stanchik A.V.,

SSPA «Scientific-Practical Materials Research Centre of National Academy of Sciences of Belarus», Minsk, Belarus

Baraishuk² S.M., PhD,

Belarusian State Agrarian Technical University, Minsk, Belarus

Wiertel M., PhD, Budzynski M., Doctor of Science

Maria Curie-Skłodowska University, Lublin, Poland

PROGRESS IN THIN-FILM Cu₂ZnSnSe₄ SOLAR CELLS

Photovoltaic (PV) is a very promising field amount various renewable energies. But solar cells can only establish themselves durable on the market, if they

are also economically profitable. Researches PV is not only focusing on enhancing the conversion efficiency and the stability of the solar cells, but is also trying to find processes and technologies to reduce the costs. For example, flexible $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$ (CZTSe) solar cells are very attractive and the many application possibilities compared with Si, CIGS and CdTe-based solar cells on glass substrates. The CZTSe is of interest because it has an optical direct energy bandgap (1.0 eV [1]) close to the ideal value for single junction solar cells. Also because of its direct energy bandgap, it has a high optical absorption coefficient, $\alpha > 10^4 \text{cm}^{-1}$ [1], resulting in the need for only a few microns of material to absorb most of the incident light. All of the constituent elements needed to make CZTSe, i.e., copper, zinc, tin, and sulfur, are highly abundant and therefore cheap, and all are environmentally acceptable [1].

Flexible solar cells offer several advantages for their manufacturing and applications compared to modules on glass substrates [2]. Solar cells on flexible substrates are very thin, light-weight and they can be applied on bendable surfaces, which makes them also more suitable in use. Another advantage of flexible substrates is the potential to use roll-to-roll technology for the production of thin films which lead to much faster payback of solar cells because of high throughput processing and low cost of the overall system.

In this paper, we briefly report evolution of growth technologies of CZTSe thin films on glass and flexibility metal substrates in a single report from their inception to the state-of-the-art development.

The evolution of efficiency of CZTSe solar cells using different deposition techniques of CZTSe thin films on different substrates is illustrated in Fig. 1. Several fabrication methods including vacuum-base, vacuum-free and solution process have been commonly used for CZTSe absorber layer deposition. The absorber layer fabrication techniques can be subclassified into one-step or two-step processes. Unlike CIGS, the vacuum-based CZTSe thin films fabrication technique had been exclusively the two-step process. Since the vacuum one-step steps are not so successful for the preparation of CZTSe thin films due to the volatility of tin, zinc, and selenium, which complicates their deposition on the substrate at high temperatures. It should be noted, that if the two-stage film production process uses a combination of vacuum and non-vacuum methods, the production costs could be additionally reduced. Recently, various non-vacuum methods have been applied to form precursors in the first step of the CZTSe films growth. Among these methods, electrochemical deposition is promising because of its low cost, easy to control, efficient use of materials, high throughput and nontoxic process.

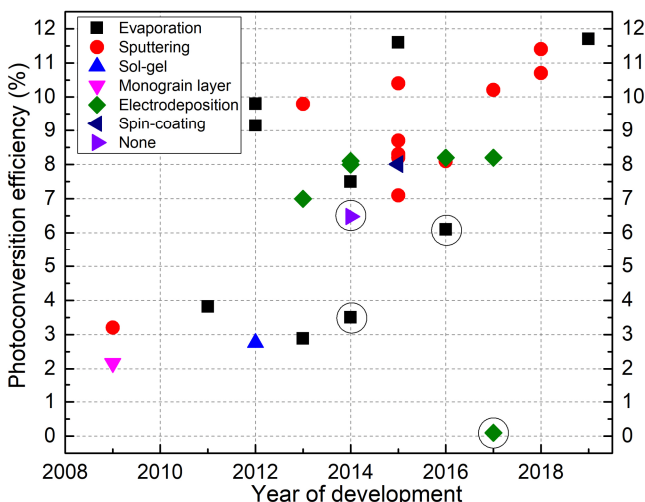


Figure 1 – Evolution of CZTSe-based solar cell efficiency using different deposition techniques and substrates [1,3–8]. The values circled correspond to the efficiency of thin-film CZTSe solar cells on a metal flexible substrates

The first thin-films CZTSe solar cells with efficiency of 3.2 and 2.16% reported in 2009 using a sputtering and a new type of device structure known as monograin layer (MGL) solar cell, respectively. Efficiency of the CZTSe thin-film solar cells has been improved significantly over the past decade since the first report in 2009. The best laboratory energy conversion efficiency 9.15 and 11.7 % has been achieved by CZTSe deposited using a one-step and two-step processes vacuum technique, respectively.

Metals and polymers are strong candidates as flexible substrate, but metallic foils offer the possibility to deposit the absorbing layer at temperatures similar or higher than those used for high-quality absorber on glass substrate. The Ti [4], SS [5,6], Mo [7–9], and Ta [2,9,10] foils have been used as substrates for CZTSe thin films. In 2014, for the first time CZTSe solar cells have been successfully grown on SS substrates with efficiency 6.1% [5]. In 2017, on Mo foil a record conversion efficiency of 6.48% has been achieved, which is the highest efficiency ever reported for CZTSe solar cell grown on metal foil [8].

So, thin film PV technologies are believing to be the most promising for terawatt scale PV deployment among the existing renewable energy technologies that could mitigate present as well as future energy crisis. Therefore, extensive research efforts must be given to increasing the efficiency of thin-films CZTSe solar cells for popularization as well as for viable commercialization.

This work was supported by the Belarusian Republican Foundation for Fundamental Research (№ T19M-022) and the Belarusian State Programme for Research «Physical material science, new materials and technologies».

REFERENCES

1. Paranthaman, M.P. Semiconductor Materials for Solar Photovoltaic Cells / M.P. Paranthaman, W. Wong-Ng, R.N. Bhattacharya. – Springer International Publishing, Switzerland, 2016. – V. 218. P. 25.
2. Effects of selenization time and temperature on the growth of $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$ thin films on a metal substrate for flexible solar cells / A.V. Stanchik [et al.] // Solar Energy. – 2019. – V. 178. – P. 142–149.
3. Vauche, L. Process development and scale-up for low-cost high-efficiency kesterite thin film photovoltaics: Diss.: Micro and nanotechnologies: Soutenue 27.11.2015. – France, 2015. – 189 p.
4. Direct preparation of $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$ films by microwave irradiation and its dependence on the Sn/(Sn + Zn) ratio / R. Kaigawa [et al.] // Japanese Journal of Applied Physics. – 2015. – V. 54. – P. 08KC02.
5. Earth-abundant absorber based solar cells onto low weight stainless steel substrate / S. López-Marino [et al.] // Sol. Energ. Mat. Sol. C. – 2014. – V. 130. – P. 347–353.
6. Alkali doping strategies for flexible and light-weight $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$ solar cells / S. Lopez-Marino [et al.] // J. Mater. Chem. A. – 2016. – Vol. 4, N. 5. – P. 1895–1907.
7. Co-Electrodeposition of Metallic Precursors for the Fabrication of CZTSe Thin Films Solar Cells on Flexible Mo Foil / M.I. Khalil [et al.] // J. of The Electrochemical Society. – 2017. – V. 164. – P. D302–D306.
8. Sim, J.H. The characteristics of flexible CZTSe / J.H. Sim, K.J. Yang // XXVI Int. Materials Research Congress, Cancun (Mexico), 20–25 August 2017 / Sociedad Mexicana de Materiales (SMM); ed: Armando Salinas Rodriguez. – Cancun, 2017. – P. SB.6-P031.
9. Microstructure and Raman Scattering of $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$ Thin Films Deposited onto Flexible Metal Substrates / A. V. Stanchik [et al.] // Semiconductors. – 2018. – V. 52, N. 2. – P. 215–220.
10. Influence of the Substrate Type on the Surface Morphology of $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$ Thin Films / S.M. Baraishuk [et al.] // Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques. – 2018. – V. 12, N. 6. – P. 1077–1081.

Станчик А.В., ГНПО «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по материаловедению», Минск, РБ

Жигулин Д.В.

ОАО «Интеграл», Минск, Республика Беларусь

**ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВОГО И ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА
ПРЕКУРСОРОВ ZnS/Sn/Cu ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК
 $\text{Cu}_2\text{ZnSn(S,Se)}_4$**

Введение. Благодаря своим оптическим и электрическим свойствам тонкие пленки $\text{Cu}_2\text{ZnSn(S,Se)}_4$ (CZTSSe) являются перспективными для

использования в качестве светопоглощающего слоя в солнечных элементах [1]. Кроме того, CZTSSe является хорошей альтернативой используемым в настоящее время светопоглощающим тонким пленкам CIGS и CdTe, содержащих токсичные и редкие элементы.

В данной работе представлены результаты исследования фазового и химического состава прекурсоров ZnS/Sn/Cu, что позволит в дальнейшем изучить их влияния на формирование/кристаллизацию тонких пленок CZTSSe.

Методика эксперимента. Прекурсоры ZnS/Sn/Cu были получены путем послойного напыления на подложку стекло/Мо с помощью магнетронной распылительной системе (Nanovak, NVT5500), оборудованной тремя двухдюймовыми мишенями. Для напыления прекурсоров использовались мишени Cu, Sn и ZnS с чистотой 99,99 %. Напыление происходило с последовательностью ZnS, Sn и затем Cu при комнатной температуре. В таблице 1 представлены условия напыления слоев прекурсоров ZnS/Sn/Cu.

Морфологию прекурсоров ZnS/Sn/Cu исследовали методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) на растровом электронном микроскопе «S-4800» (Hitachi). Химический состав прекурсоров определялся методом энергодисперсионного рентгеновского микроанализа (ЭРМ) с помощью микроанализатора «Quantex 200» (Bruker, Германия). Рентгенофазовый анализ (РФА) осуществлен с помощью дифрактометра ДРОН-3М с использованием CuK_α -излучения ($\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$). Фазовый состав определяли путем сопоставления экспериментально измеренных данных со стандартными данными, опубликованными Crystallography Open Database (COD) при помощи программы «Match».

Таблица 1 – Параметры напыления прекурсоров ZnS/Sn/Cu

Слой прекурсора	Условия напыления		
	давление, мТорр	мощность, Вт	время, с
ZnSe	20	100	60
Sn	20	50	30
Cu	20	40	28

Результаты и их обсуждение. Из представленных данных в таблице 2 видно, что химический состав прекурсоров ZnS/Sn/Cu серии **А** и **Б** отличается не значительно. Тем не менее, состав прекурсоров ZnS/Sn/Cu серии **Б** характеризуется небольшим обогащением Sn и Zn по сравнению с серией **А**.

Таблица 2 – Элементный состав прекурсоров ZnS/Sn/Cu

Серия образца	Cu		Zn		Sn		S	
	at. %	wt. %	at. %	wt. %	at. %	wt. %	at. %	wt. %
А	77,54	67,04	1,94	1,74	18,89	30,51	1,63	0,71
Б	73,51	62,01	2,13	1,85	22,41	35,31	1,94	0,83

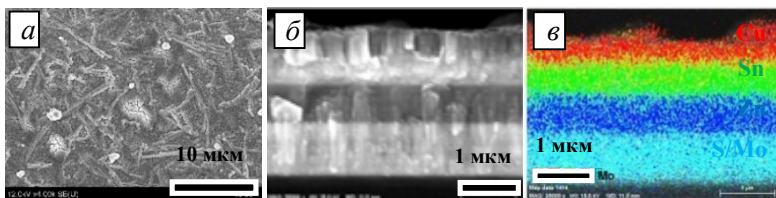


Рисунок 1 – Типичные СЭМ-изображения поверхности (а) и поперечного сечения (б) прекурсоров ZnS/Sn/Cu, а также ЭПМ-картирование поперечного сечения (в)

На поверхности прекурсоров ZnS/Sn/Cu сформированы единичные зерна (рис. 1,а) сферической формы диаметром 0,5–2 мкм и нитевидные образования длиной до 8 мкм. Толщина слоя ZnS/Sn/Cu в прекурсорах А и Б серии составляет 0,8 мкм (рис. 1,б). Посредством элементного картирования изображения поперечного сечения прекурсоров ZnS/Sn/Cu (рис. 1,в) показано, что исследуемые прекурсоры имеют слоистую структуру и напыляемые слои Cu, Sn и ZnS распределены авномерно. Кроме того, на-

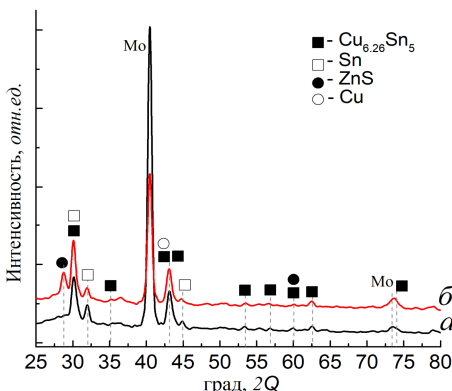


Рисунок 2 – Рентгенограммы прекурсоров ZnS/Sn/Cu серии А (а) и Б (б)

блюдается незначительная диффузия Sn в Zn, а также взаимодиффузия Cu и Sn, Zn и S/Mo. Исследования также показали, что на поверхности прекурсоров присутствуют зерна, которые имеют сильную концентрацию Cu и Sn, что может быть связано с образование сплава Cu-Sn.

Образование фазы $\text{Cu}_{6.26}\text{Sn}_5$ (одна из фаз, которую включает сплав Cu-Sn [2]) в прекурсорах ZnS/Sn/Cu серии А и Б подтверждается РФА (рис. 2). В обоих случаях также присутствуют фазы Sn и Mo. Кроме того, в составе прекурсоров ZnS/Sn/Cu серии А возможно также существование чистой фазы Cu, определения которой затруднено из-за перекрытия основных рефлексов с фазой $\text{Cu}_{6.26}\text{Sn}_5$. Тем не менее, существование фазы Cu в составе данной серии образцов может быть связано с обогащением Cu их химического состава по сравнению с серией Б (табл. 1). Кроме того, на рентгенограмме прекурсоров ZnS/Sn/Cu серии Б также присутствуют рефлексы, принадлежащие ZnS. Образование данной фазы в прекурсорах

Б серии возможно происходит из-за обогащения Zn химического состава по сравнению с прекурсорами **А** серии.

Заключение. Прекурсоры ZnS/Sn/Cu, полученные путем послойного магнетронного напыления, имеют слоистую структуру и напыляемые слои Cu, Sn и ZnS распределены равномерно. РФА показал, что прекурсоры ZnS/Sn/Cu содержат фазы $\text{Cu}_{6,26}\text{Sn}_5$, Sn, а также возможно существование фаз Cu и ZnS в зависимости от химического состава прекурсоров. Работа выполнена при поддержке БРФФИ (№ Т19М-022).

Список использованных источников

1. Paranthaman, M.P. Semiconductor Materials for Solar Photovoltaic Cells / M.P. Paranthaman, W. Wong-Ng, R.N. Bhattacharya. – Springer International Publishing, Switzerland, 2016. – V. 218. P. 25.
2. Liquidus projection and thermodynamic modeling of Sn–Zn–Cu ternary system / H. Yu-Chih [et al.] // Journal of Alloys and Compounds. – 2009. – Vol. 477, N 1-2. – P. 283–290.

Ткаченко Т.М. к.ф.-м.н., доцент, Барайшук С.М. к.ф.-м.н., доцент,
Белорусский государственный аграрный технический университет,

П. Будзинский к.ф.-м.н.,

Люблинский Технический университет, Люблин, Польша

З. Суровец к.ф.-м.н.

Институт физики Университета М. Кюри-Склодовской, Люблин,
Польша

ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ НЕОДИМОВОГО МАГНИТА ПРИ ЕГО ЭКСПЛУАТАЦИИ В КОРРОЗИОННО АКТИВНЫХ СРЕДАХ

Аннотация. Исследованы механические характеристики цилиндрического неодимового магнита, полученного методом порошковой металлургии, обработанного водными растворами соли. Установлен рост коэффициента трения относительно карбида вольфрама и снижение износа обработанных образцов.

Введение. Постоянные магниты на основе фазы $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ имеют широкое коммерческое применение в технике благодаря высоким значениям основных магнитных характеристик - температуры Кюри, намагниченности насыщения, константы магнитной анизотропии [1]. Свойства материалов на основе фазы $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$, полученных с применений различных технологий, достаточно подробно изучены [2, 3]. К серьезным недостаткам таких магнитов относятся хрупкость и низкая коррозионная стойкость, которая обычно устраняется нанесением разнообразных защитных покрытий [4, 5], повреждение которых вызывает коррозионные процессы

внутри тела магнита, сопровождающиеся снижением рабочих характеристик. В этой связи изучение коррозионных процессов и их влияния на структуру и свойства непокрытых магнитов $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ продолжает быть актуальным [6-7]. В нашей работе изучено изменение механических характеристик неодимового магнита под влиянием водных растворов соли.

Результаты и обсуждение. Образцы магнитов цилиндрической формы на основе $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ получены методом порошковой металлургии. Рентгенофазовый анализ и мессбауэровские исследования на ^{57}Fe [8] выявили в составе полученных образцов основную тетрагональную фазу $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$, а также наличие NdO и Nd_2O_3 , представляющих собой межзеренный материал. Структура магнита представляла собой хорошо ориентированные ферромагнитные зерна основной фазы размером $\sim 0,8\text{--}1,2$ мкм. Материал примесных фаз равномерно распределен по объему магнита по границам зерен. Намагниченность насыщения исходного образца ~ 165 кА/м. Под действием водного раствора соли количество немагнитной фазы, появившейся в образце, обработанном солью, составило $\sim 22\%$ [8].

Поверхность образцов была механически отполирована до состояния с шероховатостью $R_a=0,08$ мкм по площадке 100 мкм^2 . Исследование механических характеристик исходного и обработанных образцов $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ проведено с помощью трибометра, действующего по схеме «плоскость-шар». Измерения исходного образца проведены с шарами, выполненными из карбида вольфрама WC двух различных диаметров (0,5 мм и 1 мм), и шаром, выполненным из нитрида кремния Si_3N_4 , диаметром 1 мм. Измерения коэффициентов трения выполнялись по методике сухого трения. Температура воздуха 20°C при относительной влажности 25-30% и атмосферном давлении около 100 кПа.

Коэффициент трения имеет характерную зависимость от диаметра шара и материала, из которого изготовлен шар. В случае шаров диаметром 1 мм коэффициент трения является постоянным и низким для первых 5000 циклов. Затем медленно растёт до величины 0,85 с шаром WC и $\sim 1,05$ с шаром Si_3N_4 . Рост коэффициента трения связан с износом поверхностного отполированного слоя. В увеличение коэффициента трения, кроме деформационного, дает вклад адгезионная составляющая. Истёртые ферромагнитные частицы NdFeB остаются в зоне механического взаимодействия и прилипают к поверхности шара и пластине, увеличивая коэффициент трения. Медленное увеличение коэффициента трения исходного неодимового магнита относительно шара Si_3N_4 после ~ 1100 циклов связано с дополнительным прилипанием продуктов трения к шару из-за большего химического сродства азота с железом и бором. Только после износа износостойчивого слоя исходного магнита в размере $\sim 0,2$ мкм. коэффициент трения растёт. Для необработанного образца коэффициент трения магнита относительно шара из WC составляет $\sim 0,18$, для обработанных солью $\sim 0,41$.

Для наблюдения изменений поверхности образцов были проведены AFS-исследования (бесконтактный режим). Средняя шероховатость исследуемых площадок размером составляла $Ra=82$ нм. После обработки на поверхности, помимо характерных следов полировки материала, появляются также неоднородности, в 2,3-3,2 раза превышающие по высоте основной рельеф. Обработка раствором соли приводит к формированию на поверхности одиночные каплеобразные образования размером 0,2-0,4 мкм в поперечнике и средней высотой 36 нм, концентрация составляет $0,15 \text{ мкм}^{-2}$, изменение шероховатости в этом случае составляет до 67 нм для площадок 100 мкм^2 . Предварительные данные указывают на уменьшение износа всех обработанных образцов.

Во всех случаях для обработки магнита использованы водные растворы, по-видимому в приповерхностном слое магнита образовывается гидроксид неодима с выделением водорода $\text{Nd}+3\text{H}_2\text{O}\rightarrow\text{Nd}(\text{OH})_3+3\text{H}$. Восстановленное водородом железо встраивается в решетку гидроксида неодима, так как расположение железа в структуре $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ иногда рассматривают как искаженную гексагональную плотноупакованную σ -фазу, слои которой разделены плоскостями неодим-бор [1], при этом структура слоев железа в магните и структура гидроксида неодима подобны. Чистого железа и его окислов в составе поверхностного материала обработанных магнитов нами обнаружено не было [8].

Заключение. Сравнение исследованных механических характеристик неодимового магнита до и после обработки водными растворами соли NaCl обнаруживает повышение коэффициента трения относительно карбида вольфрама в обработанных образцах и снижение их износа. Изменение механических свойств образца, обработанного водным раствором соли сопровождается ощутимым ухудшением магнитных свойств.

Список использованных источников

1. J. F. Herbst, J. J. Croat, F.E. Pinkerton, W. B. Yelon. Relationships between crystal structure and magnetic properties in $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ // *Phys. Rev. B*. 1984. V.29. P. 4176–4178.
2. M. Sagawa, S.Hirosawa, et all. Nd–Fe–B Permanent Magnet Materials // *Japanese Journal of App. Physics*. 1987. V.26. P. 785-800.
3. T.G.Woodcock, Y.Zhang, et all. Understanding the microstructure and coercivity of high performance NdFeB-based magnets // *Scripta Materialia*. 2012. V.67, Issue 6. P. 536-541.
4. E.Isotahdon, E.Huttunen-Saarivirta, et all. Corrosion protection provided by electrolytic nickel and tin coatings for Nd–Fe–B magnets // *Journal of Alloys and Compounds*. 2014. V. 585. P. 203-213.
5. Беляев И.В., Степнов А.А., и др. Антикоррозионные покрытия для постоянных магнитов типа Nd-Fe-B // *Физика и химия обработки материалов*. 2011. №3. С.12-15.

6. J.Ni, T.Y.Ma, X.G.Cui, Y.R.Wu, M.Yan. Improvement of corrosion resistance and magnetic properties of Nd–Fe–B sintered magnets by Al85Cu15 intergranular addition // Journal of Alloys and Compounds. 2010. V. 502, Issue 2. P. 346-350.
7. H. Yang, S. Mao and Z. Song. The effect of absorbed hydrogen on the corrosion behavior of sintered NdFeB magnet// Materials and Corrosion. 2012, V.63, No. 4. P.292-296.
8. M.Budzynski, V.Constantin, et all. Mössbauer Effect study of treated Nd2Fe14B // Nukleonika. 2015. V.60 (1), P.7-10. DOI: 10.1515/nuka-2015-0003.
9. T.Zak, N.Talijan, et all. NdFeB Permanent Magnets with various Nd Content // Acta Phys. Polonica A. 2008.V.113. P. 279-282.

Ткаченко Т.М., к.ф.-м.н., доцент;
Белорусский государственный аграрный технический университет,
Минск Митюк В.И., к.ф.-м.н., ст.н.с.
НПЦ НАН Беларуси по материаловедению, Минск
МАГНИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ СПЛАВОВ
ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ С ЭЛЕМЕНТАМИ IV-VI ГРУПП

Как известно, магнитные материалы широко применяются в энергетике и электротехнике – постоянные магниты, сердечники трансформаторов, магнитные системы электрических машин. Для применений в качестве постоянных магнитов используют, например, углеродистые и вольфрамовые стали, магниты состава неодим-железо-бор, для изготовления сердечников трансформаторов – магнитомягкие пермаллои, альсиферы, низкоуглеродистые кремнистые стали. Однако развитие техники требует соответствующих изменений в ее материальной базе, что стимулирует постоянный поиск и исследование новых магнитных материалов. С этой целью были получен и исследован ряд новых магнитных материалов на основе антимонидов, станнидов, фосфидов и арсенидов марганца, кобальта, железа, никеля [1-6].

Наиболее интересным из перечисленного списка представляется антимонид марганца состава $Mn_{1+x}Sb$ ($0 \leq x \leq 0.22$) со структурой типа B8. Этот сплав и другие сплавы на его основе наиболее интересны из всех полученных нами с практической точки зрения, так как они находят широкое применение в качестве материалов для магнитооптической записи информации, материалов электродов литиевых аккумуляторных батарей, материалов термодатчиков [7]. На основе антимонида марганца созданы новые композиционные материалы [8], которые могут найти применение для создания магниточувствительных диодных структур, магнитных переключателей и сенсоров магнит-

ных полей, созданы наноструктурированные гибридные материалы с высокими критическими температурами, эти материалы используют даже в качестве материала постоянного магнита [9] и т.п.

На основе известного антимонида марганца MnSb нами были получены и исследованы твердые растворы с медью, цинком, алюминием и кремнием. Синтез каждого сплава проводился прямым сплавлением компонентов с последующей термообработкой в вакуумированных кварцевых ампулах. Компоненты брались в соответствующих весовых соотношениях с целью получения сплава точного состава. В работе выполнены структурные, магнитные и мессбауэровские исследования.

Структура всех полученных материалов (на порошковых образцах) была исследована методом рентгенографического фазового анализа в $\text{CuK}\alpha$ -излучении при комнатной температуре. Материалы однофазны и соответствовали структурному типу B8.

Исследования магнитных свойств – удельной намагниченности и температуры Кюри - проведены на установке, работающей по методу Фарадея в поле 8.6Т при температуре 77К–700К.

Для уточнения структурных и магнитных свойств были проведены также Мессбауэровские исследования. Эксперимент был выполнен в геометрии прохождения и режиме постоянных ускорений, температуры измерений составляли 77К и 291К. Использован источник γ -излучения $^{57\text{m}}\text{Co}$ (Rh). Мессбауэровские параметры были рассчитаны относительно α -Fe.

Результаты – структурные параметры решеток, удельные намагниченности и температуры Кюри – для материалов, полученных на основе антимонида марганца, приведены в таблице 1. Мессбауэровские исследования подтвердили структурные и магнитные характеристики.

Таблица 1. Структурные и магнитные характеристики твердых растворов на основе антимонида марганца со структурой типа B8.

Состав	a [Å]	c [Å]	σ [emu/g]	T_c [K]
$\text{Mn}_{1,1}\text{Sb}$	4.157	5.757	99.7	520
$\text{MnZn}_{0,1}\text{Sb}$	4.150	5.758	97.9	570
$\text{MnCu}_{0,1}\text{Sb}$	4.133	5.770	97.8	590
$\text{Mn}_{1,2}\text{Sb}$	4.197	5.723	92.9	540
$\text{Mn}_{1,1}\text{Zn}_{0,1}\text{Sb}$	4.175	5.726	90.2	570
$\text{Mn}_{1,1}\text{Cu}_{0,1}\text{Sb}$	4.164	5.775	90.5	580
$\text{Mn}_{1,5}\text{Sb}$	4.281	5.648	26	230
$\text{Mn}_{1,4}\text{Zn}_{0,1}\text{Sb}$	4.302	5.656	27	260
$\text{Mn}_{1,3}\text{Cu}_{0,2}\text{Sb}$	4.236	5.674	44	350
$\text{Mn}_{1,2}\text{Cu}_{0,3}\text{Sb}$	4.243	5.671	38	450*
$\text{Mn}_{1,1}\text{Si}_{0,1}\text{Sb}_{0,9}$	4.167	5.742	93	470
$\text{Mn}_{1,1}\text{Al}_{0,1}\text{Sb}_{0,9}$	4.177	5.734	88	465

Из приведенных данных видно, что введение в состав антимонида марганца меди или цинка существенно сказывается на величине намагниченности и температуре Кюри, чем замещение алюминием или кремнием. Высокая точность метода эффекта Мессбауэра позволила рассчитать распределение атомов по подрешеткам структуры и показать, что атомы Cu и Zn предпочтительнее замещают атомы марганца в тригонально-бипирамидальных позициях структуры типа B8, а атомы Al и Si предпочтительнее замещают атомы металлоида- сурьмы - в структурной сетке материала. Именно эта особенность замещений атомов влияет на температуру Кюри.

Полученные в работе магнитные сплавы представляют интерес тем, что их температуры Кюри лежат в области невысоких, близких к комнатным температурам, что важно для решения целого ряда технических задач. Другой важной особенностью полученных сплавов является сильная зависимость их температур магнитных фазовых переходов от степени отклонения состава сплава от стехиометрического. Такой характер зависимости температур Кюри от крайне малых вариаций составов дает практическую возможность выполнять непрерывный ряд материалов с непрерывно-последовательным изменением температуры Кюри на одном и том же соединении – антимониде марганца, что может найти применение в производстве различных термомагнитных устройств.

Список использованных источников

1 Магнитный материал В.И. Митюк, В.М. Рыжковский, Т.М. Ткаченко. Патент РБ № 11937 (2009).

2 Магнитный материал Г.И.Маковецкий, О.Ф. Демиденко, Т.М.Ткаченко. Патент РБ № 12025 (2009).

3 Магнитный материал В.И. Митюк, В.М. Рыжковский, Т.М. Ткаченко. Патент РБ № 13034 (2010).

4 Магнитный материал на основе антимонида марганца. В.И.Митюк, В.М.Рыжковский, Т.М.Ткаченко. Патент РБ №16317 (2012).

5 Магнитный материал на основе антимонида кобальта. Галяс А.И.,Маковецкий Г.И., Ткаченко Т.М. Патент РБ №16318 (2012)

6 Магнитный материал. В.И.Митюк, В.М. Рыжковский, Т.М.Ткаченко Патент РБ №16320 (2012).

7 Negative electrodes for lithium cells and batteries. Vaughey; John T. Fransson; Linda M. L.; Thackeray; Michael M. United States Patent: 6,855,460 (2005).

8 Магниточувствительный композит. Аронзон Б.А., Федорченко И.В., Новодворский О.А.,Маренкин С.Ф. Патент РФ № 2633538.

9 Boron doped manganese antimonide as a useful permanent magnet material. Patent US9968999B2 (2018). Nidhi Singh. Jiji Thomas Joseph Pulikkotil, Anurag Gupta, Kanika Anand, Ajay Dhar, Ramesh Chandra Budhani.

Thomas M.F.,
Department of Physics, Oliver Lodge Laboratory, the University of Liverpool,
Liverpool, UK

Ткаченко Т.М.

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь

МАГНИТНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В FeSb ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Различные технические задачи требуют использования материалов с различными магнитными характеристиками: температурами переходов, величинами намагниченностей, индукциями магнитных полей. С точки зрения получения разнообразия свойств на основе одного материала интерес представляет антимонид железа со структурой никельарсенидного типа Fe_{1+x}Sb . По магнитным свойствам это антиферромагнетик, однако в различных исследованиях приводят значения температуры Нееля от 20 до 178K, данные по величинам магнитных моментов атомов металла также противоречивы. Расхождение в результатах обусловлено сильной зависимостью свойств антимонида железа от небольших отклонений состава от стехиометрического соотношения и от способа синтеза.

Целью данной работы было изучение особенностей магнитных взаимодействий в антимониде железа состава $\text{Fe}_{1,22}\text{Sb}$ в температурной области $10\text{K} \leq T \leq 293\text{K}$.

Антимонид железа состава $\text{Fe}_{1,22}\text{Sb}$ был получен методом гетерофазного взаимодействия смеси порошков компонент, взятых в рассчитанных весовых соотношениях, в вакуумированных кварцевых ампулах. В процессе синтеза, 2ат.% сурьмы были замещены на 2ат.% олова, с целью возможности последующего проведения мессбауэровского эксперимента на изотопе ^{119}Sn .

Магнитные измерения проведены на магнетометре SQUID [1]. Ход полевой зависимости намагниченности $\text{Fe}_{1,22}\text{Sb}$ при $T=10\text{K}$, рис.1, типичен для магнитных взаимодействий, реализующихся по антиферромагнитному типу. Однако на температурных кривых намагниченности (рис.2), измеренных в нулевом магнитном поле и в поле $H=1\text{T}$, наблюдаются особенности. Кривая в нулевом поле имеет заметный перегиб в области температуры магнитного фазового перехода антиферромагнетик-парамагнетик $T_N \sim 130\text{K}$, однако при дальнейшем снижении температуры наблюдается рост намагниченности вплоть до провала при $T \sim 20\text{K}$. Такое температурное поведение намагниченности позволяет предположить существование в антимониде железа спинстекольного состояния в области температур $T \leq 130\text{K}$. Ранее [2] было показано существование

спинстекольного состояния для обогащенного металлом антимонида железа $\text{Fe}_{1,5}\text{Sb}$, полученного под давлением, в температурной области ниже 100K.

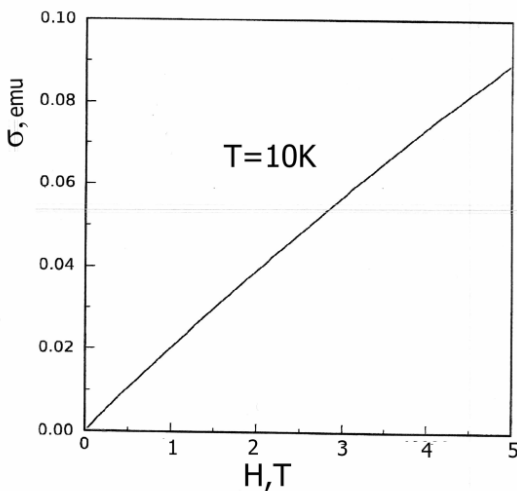


Рис. 1. Полевая зависимость намагниченности $\text{Fe}_{1,22}\text{Sb}$ при $T=10\text{K}$.

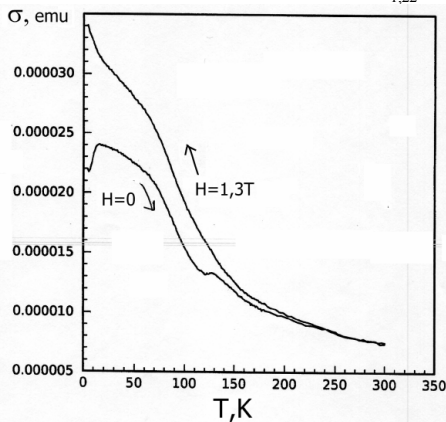


Рис. 2. Температурные кривые намагниченности $\text{Fe}_{1,22}\text{Sb}$ в нулевом внешнем поле и поле 1,3Т.

Для уточнения магнитных параметров был проведен мессбауэровский эксперимент на трех различных изотопах – железе, сурьме (основные компоненты соединения) и олове, с соответствующими источниками резонансного гамма-излучения $^{57}\text{Co/Rh}$, $\text{Ca } ^{119}\text{SnO}_3$ и ^{121}Sb . Измерения проведены в обычной геометрии прохождения и режиме постоянных

ускорений. Спектры обработаны по программам FfitA и FCFCORE_3. Мессбауэровские данные позволили уточнить магнитные свойства атомов железа, а также различить магнитные свойства атомов сурьмы и олова, которые статистически распределены по позициям металлоида в структуре никельарсенидного типа.

По результатам магнитных и мессбауэровских измерений показано существование спинстекольного состояния в антимониде железа $\text{Fe}_{1,22}\text{Sb}$ со структурой типа B8 в области температур $20\text{K} \leq T \leq 130\text{K}$.

Сурьма в $\text{Fe}_{1,22}\text{Sb}$ при $T=77\text{K}$ в магнитных взаимодействиях не участвует, в отличие от олова, введенного в состав антимонида в качестве мессбауэровского зонда.

Значение температуры магнитного фазового перехода $\text{Fe}_{1,22}\text{Sb}$, определенное по мессбауэровским данным, составляет $T_N=150\text{K}$, что выше $T_N=130\text{K}$, полученной из температурных измерений намагниченности.

Список использованных источников

1. M.F. Thomas, Т.М. Ткаченко. Сверхтонкие магнитные взаимодействия в антимониде железа на ^{57}Fe , ^{121}Sb и ^{119}Sn . ФНТ, 2013. Том 39, N 12, с.1346-1349.
2. Y.F. Guo, Y.G. Shi, S. Yu, K. Yamaura, E. Takayama-Muromachi, Phys.C:Superconductivity 470, S428 (2010).

Ткаченко Т.М., к.ф.-м.н., доцент,

Белорусский государственный аграрный технический университет.

Минск, Республика Беларусь

Митюк В.И., к.ф.-м.н., ст.н.с.

НПЦ НАН Беларуси по материаловедению, Минск, РБ

А.И. Мартынюк, ст. преподаватель

Международный университет "МИТСО". Минск, Республика Беларусь

СПЛАВ $\text{Mn}_{0,99}\text{AsFe}_{0,01}$ - МАТЕРИАЛ ДЛЯ РЕФРИЖЕРАТОРОВ

В последние годы значительно вырос интерес к возможностям магнитного охлаждения с помощью магнитных – твердотельных хладагентов и созданию рефрижераторов, основанных на таком охлаждении [1–2]. Причиной этого интереса является перспектива снижения в магнитных рефрижераторах затрат энергии на 20–30 % по сравнению с холодильными устройствами, работающими по технологии газового сжатия. Кроме того, использование магнитных рефрижераторов позволило бы исключить выброс вредных газовых составляющих. Магнитокалорический эффект (МКЭ) достигает наибольшего значения в области магнитных фазовых

переходов. К числу материалов обладающих данным эффектом относятся материалы на основе MnAs [3].

Цель работы – синтез монокристалла и поликристаллического порошка $\text{Mn}_{0,99}\text{AsFe}_{0,01}$, изучение магнитных свойств и МКЭ в твердом растворе $\text{Mn}_{0,99}\text{AsFe}_{0,01}$, обладающим магнитным фазовым переходом в области комнатных температур.

Монокристаллы $\text{Mn}_{0,99}\text{AsFe}_{0,01}$ были получены выращиванием по методу Стокбаргера-Бриджмена в вакуумированных кварцевых ампулах с коническим наконечником. Диаметр используемой ампулы составлял 6–10 мм при угле конуса ампулы 45° . Ампула опускалась из зоны расплава вдоль зоны кристаллизации со скоростью 2–3 мм/час. Для улучшения условий зарождения и роста монокристаллов внутренняя поверхность кварцевой ампулы покрывалась тонким слоем оксида алюминия.

Для определения фазового состава были измерены дифрактограммы в $\text{CuK}\alpha$ излучении на порошковых образцах при $T = 285$ К. Анализ дифрактограмм показал, что образцы являются однофазными. Из результатов рентгенографических исследований следует, что $\text{Mn}_{0,99}\text{AsFe}_{0,01}$ обладает кристаллической структурой типа NiAs с пространственной группой $R\bar{6}/mmm$.

Были выполнены измерения полевых зависимостей намагниченности в магнитном поле до 100 кЭ при последовательном повышении температуры (с небольшим шагом ΔT) перехода. При температурах вблизи T_u наблюдаются скачки намагниченности в полях, превышающих критическое значение H_{cr} . Этот эффект связан с тем, что при $H > H_{cr}$ магнитное поле индуцирует в парамагнитной фазе ферромагнитное упорядочение. Вблизи H_{cr} наблюдается заметный полевой гистерезис, что указывает на сосуществование метастабильных парамагнитных и ферромагнитных фаз. Изотермическое изменение энтропии (ΔS) при заданном изменении магнитного поля H рассчитано, используя соотношение Максвелла.

Из изотерм намагничивания были рассчитаны изотермические изменения энтропии (ΔS) при заданном изменении магнитного поля для ряда температур и построены зависимости $-\Delta S(T)$.

Было найдено, что максимальное изменение магнитной энтропии для $\text{Mn}_{0,99}\text{AsFe}_{0,01}$ составляет примерно 28 Дж/кг·К для изменения магнитного поля от 0 до 100 кЭ.

Оценка МКЭ вычисленная используя соотношение Максвелла, является несколько не корректной, поскольку при таких вычислениях не учитывается наличие сильного гистерезиса намагниченности в области перехода, что является характерным для фазовых переходов первого рода.

Оценить изменение энтропии магнитной подсистемы можно на основе уравнения Клапейрона–Клаузиуса, справедливого для фазовых переходов

первого рода. Если при этом переходе происходит скачок намагниченности ΔI при критическом поле H_{cr} , то выполняется соотношение:

$$dH_{cr}/dT = -\Delta S_T/\Delta I \quad (4),$$

где ΔS_T - скачок энтропии вследствие структурной трансформации кристаллической решетки.

Учитывая, что $\Delta I = \Delta \sigma \cdot \rho$, $\Delta \sigma = 100 \text{ emu/g}$, $\rho = 6.5 \text{ g/cm}^3$, $dH_{cr}/dT = 0.2 \cdot 10^4 \text{ Oe/K}$, получим $\Delta S_m = 16,3 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$.

Уравнение Клапейрона-Клаузиуса учитывает, что вследствие магнитоструктурного перехода происходят скачки как намагниченности, так и объема элементарной. Вычисления по формуле Максвелла могут давать завышенные значения ΔS , поскольку вносится ошибка из-за скачкообразного изменения намагниченности почти вблизи H_{cr} , а также сосуществования ферро- и парамагнитной фаз в области перехода. Таким образом, реализация высоких значений магнитокалорического эффекта за счет изменения магнитной энтропии в области магнитного перехода лимитируется наличием неоднородных магнитных состояний и смеси гексагональных и ромбоэдрических кристаллических фаз в области перехода.

Список использованных источников

1. Franco V. Magnetocaloric effect: From materials research to refrigeration devices / V. Franco, J.S. Blazquez, J.J. Ipus, J.Y. Law, L.M. Moreno-Ramirez, A. Conde // Progress in Materials Science. – 2018. – Vol. 93. – P. 112–232.
2. Gschneidner K. A. The Magnetocaloric Effect, Magnetic Refrigeration and Ductile Intermetallic Compounds / K.A. Gschneidner // Acta Materialia. – 2009. – Vol. 57. – P.18–28.
3. Материал для магнитного холодильника : пат. 19913 Респ. Беларусь, МПК F 25B 21/00, F 25B 9/00, C 09K 5/14, H 01L 37/04/ В.И. Митюк, Г.А. Говор, Н.Ю. Панкратов, С.А. Никитин// Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2016. – № 1. – С. 111–112.
4. Материал для магнитных рефрижераторов на основе монокристаллов арсенида марганца: пат. 16493 Респ. Беларусь, МПК С 30В 29/10, H 01F 1/01, C 01G 45/00 / В.И. Митюк, Г.А. Говор, В.М. Рыжковский// Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2012. – № 4. – С. 120–121.

Тульев В. В., к.ф.-м.н., доцент,

Белорусский государственный технологический университет, Минск

Мышковец М.В.

Белорусский национальный технический университет, Минск

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ПО ГРУБИНЕ В СТРУКТУРАХ Me/Ti, ПОЛУЧЕННЫХ ИОННО-АССИСТИРУЕМЫМ ОСАЖДЕНИЕМ

Метод ионно-ассистированного осаждения покрытий в вакууме являются перспективным методом модифицирования состава и свойств поверх-

ности материалов и изделий [1, 2]. Он позволяет при осаждении пленки облучать поверхность формируемой структуры ускоренными ионами. При таком нанесении покрытий происходит перемешивание атомов поверхностного слоя мишени с атомами осаждаемого покрытия, в результате чего формируется покрытие с высокой степенью адгезии к подложке [1, 2]. В процессе осаждения покрытия в поверхностных слоях подложки происходит изменение композиционного состава и структурно-фазового состояния, что приводит к изменению свойств поверхности [1, 2].

В данной работе в качестве подложки использовался титан. Осаждение покрытий осуществлялось при ускоряющем напряжении $U = 20$ кВ и плотности ионного тока $\sim 6\text{--}20$ мкА/см². Интегральный поток ассистирующих ионов составлял $(1\text{--}2) \cdot 10^{17}$ ион/см². В рабочей камере в процессе осаждения поддерживался вакуум $\sim 10^{-2}$ Па. Изучение элементного состава сформированных структур методом резерфордовского обратного рассеяния (РОР) ионов гелия. На основе метода РОР был определен композиционный состав покрытий. Распределение элементов по глубине в анализируемом приповерхностном слое строилось на основе данных РОР с использованием компьютерного моделирования [3].

Среднее зарядовое число Q^* в ионном пучке рассчитывалось по эмпирической формуле, приведенной в работе [4]. Так же по среднему зарядовому числу определялась средняя энергия E_i ассистирующих ионов, величина которой была использована в программе TRIM для расчета среднего проективного пробега R_p и страгглинга пробега ΔR_p ионов Cr⁺, Cu⁺, Mo⁺, W⁺ в титане и коэффициентов распыления титана S_{Ti} и металла S_{Me} соответствующими ионами. Рассчитанные данные представлены в табл. Спектры РОР ионов гелия от образца из образца из титана до и после ионно-ассистируемого осаждения покрытий на основе Cr, Cu, Mo, W представлены на рис. 1.

Таблица

Рассчитанные данные Q^* , E_i , $R_p \pm \Delta R_p$, S_{Ti} , S_{Me} для Cr⁺, Cu⁺, Mo⁺, W⁺

	Ионы			
	Cr ⁺	Cu ⁺	Mo ⁺	W ⁺
Q^*	1,71	1,7	2,55	2,81
E_i , кэВ	34	34	51	56
$R_p \pm \Delta R_p$, нм	24±11	21±10	23±10	20±6
S_{Ti} , ат/ион	1,7	1,9	2,4	3,1
S_{Me} , ат/ион	4,3	10,5	7,9	8,9

На спектре РОР для Cr/Ti (рис. 1) наблюдается сдвиг сигнала от атомов подложки в сторону меньших номеров каналов. Это свидетельствует о появлении тонкой пленки на поверхности образца. Сдвиг сигнала соответствует толщине покрытия $\sim 20\text{--}25$ нм. Для других структур такого сдвига не наблюдается. Причиной этого является процесс распыления поверхности формируемой структуры, возникающий при облучении ассистирующими ионами. Для ионов Cu^+ , Mo^+ , W^+ коэффициенты распыления атомов того же материала, что и сами ионы, превышает коэффициент распыления для Cr^+ в 2-2,5 раза.

На всех спектрах РОР (рис. 1) наблюдается сигнал от атомов кислорода, что указывает на наличие в покрытии примеси кислорода. Источником О в осажденных покрытиях являются остаточные газы в вакуумной камере [2].

На основе спектров РОР с применением компьютерного моделирования были построены профили распределения элементов покрытия (рис. 2).

Моделирование спектров РОР показало, что на поверхности титана формируется покрытие толщиной ~ 25 нм, в состав осажденного покрытия входят атомы титана из подложки; атомы осажденного металла; а также атомы технологической примеси О.

Проникновение атомов осаждаемого металла и кислорода вглубь образца превышает средний проективный пробег с учетом страгглинга пробега ассистирующих ионов (табл.). Причиной проникновения этих элементов вглубь образца является радиационно-стимулированная диффузия. Причиной проникновения атомов Ti в покрытие является встречная диффузия.

Исследования показали, что при ионно-ассистируемом осаждении покрытия на основе Cr, Cu, Mo, W на титан, формируются тонкопленочные структуры толщиной ~ 25 нм, содержащие атомы осаждаемого металла,

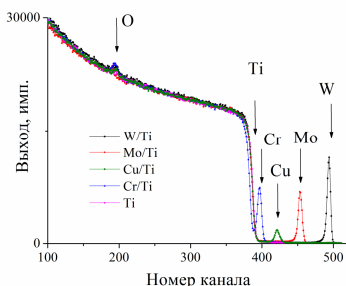


Рис. 1. Спектры РОР ионов гелия от Ti и Me/Ti структур

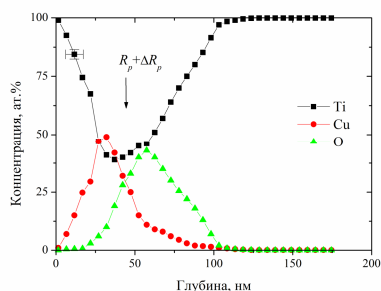


Рис. 2. Концентрационные профили распределения элементов по глубине в структуре Cu/Ti

атомы технологической примеси кислорода, атомы титана из подложки. Определено, что в состав покрытия входят атомы осаждаемого материала (2-8 ат. %), атомы кислорода (10-25 ат. %) и атомы титана из подложки. Установлено, что проникновение атомов осаждаемого металла и кислорода вглубь образца происходит вследствие радиационно-стимулированной диффузии, атомов титана в покрытие вследствие встречной диффузии. На процессы формирования покрытия влияет распыление поверхности формируемой структуры.

Список использованных источников

1. Тульев, В. В. Элементный состав, структура и фрикционные характеристики поверхности резины, модифицированной ионно-ассистируемым осаждением покрытий на основе Mo, W/ В.В. Тульев, А.В. Касперович // Труды БГТУ. Сер. VI, Физ.-мат. науки и информатика. – 2009. – Вып. XVII. – С. 54–56.
2. Бобрович, О. Г. Анализ композиционного состава и химических связей элементов металлосодержащих (Zr,W) покрытий / О.Г. Бобрович, В. В. Тульев // Физика. Известия высших учебных заведений. – 2011. – № 1/3. – С. 350–354.
3. Sasaki, J. Implantation of titanium, chromium, yttrium, molybdenum, silver, hafnium, tantalum, tungsten and platinum ions generated by a metal vapour vacuum ion source into 440C stainless steel / J. Sasaki [et. al.] // Surf. Coat. Technol. – 1992. – V. 51. – P. 166–175.
4. Doolittle, L. R. A semiautomatic algorithm for rutherford backscattering analysis. / L. R. Doolittle // Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. – 1986, – V. B15. – P. 227–234.

СОДЕРЖАНИЕ

ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

Полешук Л.Л., заместитель директора Департамента по энергоэффективности Госстандарта ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ: НОВЫЕ ВЫЗОВЫ И ВОЗМОЖНОСТИ	3
Герасимович Л.С., академик НАН Беларуси, д.т.н., профессор, Ожелевский А.В., ст. преподаватель, Андрейчик А.Е., ст. преподаватель УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь АКТУАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ ДЕМОНСТРАЦИОННЫХ ЗОН ВЫСОКОЙ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ В ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОЙ СФЕРЕ АГРОГОРОДКОВ	6
Забелло Е.П., д.т.н., профессор кафедры ЭСХП УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь КОСВЕННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ НАГРУЗКАМИ В УСЛОВИЯХ РАЗВИТИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ	8
Заяц Е.М., д.т.н., профессор, Кардашов П.В., к.т.н., доцент УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь ЭЛЕКТРОТЕРМОХИМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ОРГАНИЧЕСКИХ ДИСПЕРСНЫХ ГИДРОСИСТЕМ	14
Гируцкий И.И., д.т.н., доцент; Сеньков А.Г., к.т.н., доцент УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КОМПЬЮТЕРИЗАЦИИ ПРЕДПРИЯТИЙ АПК	18

СЕКЦИЯ 1 ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ АПК

Гецман Е.М, ст. преподаватель, Иселёнок Е.Б. <i>Белорусский национальный технический университет г. Минск, Республика Беларусь</i> РАСЧЁТ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ ПОТЕРЬ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ 10-0,4 КВ	22
---	----

Забелло Е.П., д.т.н., профессор, Мисюк И.В., магистрант. <i>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь</i>	
ОБЕСПЕЧЕНИЕ РЕАЛИЗАЦИИ СЛОЖНЫХ ТАРИФОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ ЭНЕРГОУЧЕТА	24
Збродыга В.М., к.т.н., доцент, Зеленькевич А.И., ст. преподаватель, Вакулич Р.С., студент, Ершов В.В., студент <i>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ ПРУП «ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ БАЗА ИМЕНИ Г.И. КОТОВСКОГО	27
Казак Д.А. <i>ОАО «Минский электротехнический завод им. В.И. Козлова», Минск</i>	
ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ	29
Калентионюк Е.В., к.т.н., доцент, Волков А.А. <i>Белорусский национальный технический университет, г. Минск</i>	
АВТОМАТИЧЕСКОЕ СЕКЦИОНИРОВАНИЕ СЕЛЬСКИХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ	31
Константинова С.В., к.т.н., доцент, Ярошевич Т.М. <i>Белорусский национальный технический университет, Минск</i>	
К ВОПРОСУ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ АПК	33
Короткевич М.А., д.т.н., профессор, Дашковский А.А. <i>Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь</i>	
ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПОТЕРИ В КАБЕЛЯХ НА НАПРЯЖЕНИЕ 110 КВ С ИЗОЛЯЦИЕЙ ИЗ СШИТОГО ПОЛИЭТИЛЕНА	35
Короткевич М.А., д.т.н., профессор, Подгайский С.И. <i>Белорусский национальный технический университет, г. Минск</i>	
ПРОКЛАДКА КАБЕЛЕЙ С ТОКОПРОВОДЯЩИМИ ЖИЛАМИ БОЛЬШИХ СЕЧЕНИЙ	38
Писарук Т.В., м.т.н. <i>Белорусский национальный технический университет, г. Минск</i>	
МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ДОСТОВЕРНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ НАГРУЗКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ	40

Прищепов М.А., д.т.н., доцент, Зеленкевич А.И., ст. преподаватель, Збродыга В.М., к.т.н., доцент, УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ ТРАНСФОРМАТОРОВ СО СХЕМАМИ СОЕДИНЕНИЯ ОБМОТОК «ЗВЕЗДА-ДВОЙНОЙ ЗИГЗАГ С НУЛЕВЫМ ПРОВОДОМ» И «ЗВЕЗДА-ЗИГЗАГ» ПРИ НЕСИММЕТРИЧНОЙ НАГРУЗКЕ	42
Протосовицкий И.В., к.т.н., доцент, Протосовицкий Д.И. УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь КОММУТАЦИОННЫЕ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ В ТРАНСФОРМАТОРАХ ПРИ НЕСИММЕТРИЧНЫХ РЕЖИМАХ	45
Русан В.И. д.т.н., профессор, Булко М.И. ст. преподаватель Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск ЭФФЕКТИВНОЕ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ АПК БЕЛАРУСИ	48
Селицкая О.Ю., ст. преподаватель УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ СЕЛЬСКИХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ	50
Стецкий Ф.В. м.т.н., аспирант Белорусский национальный технический университет, г. Минск МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОТЕКАНИЯ ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ В КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЯХ С БУМАЖНО-МАСЛЯНОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ	53
Счастный В.П., к.т.н., доцент, Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь Зеленкевич А.И., ст. преподаватель, УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЕМ ДВУХТРАНСФОРМАТОРНОЙ ПОДСТАНЦИИ ПРИ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РАБОТЕ ТРАНСФОРМАТОРОВ	55
Фарино А.А., м.т.н., аспирант УО «Белорусский национальный технический университет», г. Минск, РБ ОПРЕДЕЛЕНИЕ УЧАСТКА ОДНОФАЗНОГО ПОВРЕЖДЕНИЯ НА ВЛ (ВЛП)-10 КВ БЕЗ ЗАМЫКАНИЯ НА «ЗЕМЛЮ»	58

Фурсанов М.И. д.т.н., профессор, Секацкий Д.А., аспирант <i>Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОРМАТИВНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАСХОДА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ НА ПРОГНОЗИРУЕМЫЙ ПЕРИОД	60
СЕКЦИЯ 2 НЕТРАДИЦИОННЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ В АПК	
Андрейчик А.Е., ст. преподаватель, Сеница С.И., ст. преподаватель, Илькевич Е.В., студент УО «Белорусский государственный <i>аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь</i> ТЕРМОЧЕХЛЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ	64
Баран А.Н. к.т.н., доцент, Малитиков А.В. инженер <i>Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А.Д. Сахарова, Селюк Ю.Н.</i> ст. преподаватель УО «Белорусский государственный аграрный <i>технический университет», Минск, Республика Беларусь</i> Баран А.А. студент <i>Словацкий технический университет, г. Братислава, Словакия</i> РАСШИРЕНИЕ СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ БИОГАЗА	66
Барашко О.Г., к.т.н., доцент, Кобринец В. П. к.т.н., доцент, Коровкина Н. П. к.пед.н., доцент <i>Белорусский государственный технологический университет, г. Минск</i> НЕКОТОРЫЕ МЕТОДЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ	68
Болтянская Н.И., к.т.н., доцент, Болтянский О.В., к.т.н., доцент <i>ТГТУ, г. Мелитополь, Украина</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ПРОЦЕССАХ ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ ОТРАСЛИ ЖИВОТНОВОДСТВА ...	71
Болтянская Н.И., к.т.н., доцент <i>ТГТУ, г. Мелитополь, Украина</i> СНИЖЕНИЯ РАСХОДА ЭНЕРГОРЕСУРСОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СВИНИНЫ	74
Герасимович Л.С., д.т.н., академик, Тайнова А.А., аспирант <i>Республиканское научно-производственное унитарное предприятие «Институт энергетики Национальной академии наук Беларуси», г. Минск</i> СИСТЕМА КОМПЛЕКСНОГО ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ АГРОПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ С ЗАМКНУТЫМ ЦИКЛОМ	77

Говор Г.А., д.ф.н., профессор, <i>Научно-практический центр по материаловедению НАНРБ</i> Добрянский В.М. д.т.н., профессор, <i>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»</i> , Минск, Республика Беларусь Ларин А.О., аспирант <i>Научно-практический центр по материаловедению НАНРБ</i> , ТЕРМОМАГНИТНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ, КАК ИСТОЧНИК АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГИИ	80
Гутман В.Н., к.т.н., доцент <i>УО «Барановичский государственный университет»</i> , г. Барановичи ПУТИ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ В ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМАХ СВИНАРНИКОВ	83
Ербаев Е.Т. к.т.н., ст. преподаватель, Куптлеуова К.Т. ст. преподаватель <i>Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана</i> , г. Уральск, Республика Казахстан ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ В КАЗАХСТАНЕ ..	86
Занкевич В.А., к.ф.-м.н., доцент, Горный А.В., к.с.-х.н., доцент, Гуринович М.М., студент <i>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»</i> , Минск, Республика Беларусь АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ БИОЭНЕРГЕТИКИ	89
Коротинский В.А., к.т.н., доцент <i>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»</i> , Минск, Республика Беларусь ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ БИОГАЗОВЫХ КОМПЛЕКСОВ В ШВЕЦИИ	92
Коротинский В.А., к.т.н., доцент, Клинцова В.Ф. ст. преподаватель <i>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»</i> , Минск, Республика Беларусь СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ	96
Коротинский В.А., к.т.н., доцент, Гаркуша К.Э., к.т.н., доцент <i>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»</i> , Минск, Республика Беларусь ОПЫТ ПЕРЕДОВЫХ СТРАН ЕС В ОБРАБОТКЕ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ	99
Ладыко Р.И., магистрант, Андрианов В.М., д.ф.-м.н. <i>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»</i> , Минск, Республика Беларусь ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ГЕЛИОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ ФОКУСИРУЮЩИХ КОНЦЕНТРАТОРНЫХ СИСТЕМ	103

Мирончук В.И., исследователь в области тех. наук, Вельченко А.А., к.т.н., доцент, Андрианов В.М., д.ф.-м.н., УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь	
АЛГОРИТМ РАСЧЕТА СОЛНЕЧНОЙ ТРАЕКТОРИИ В ТЕЧЕНИИ ДНЯ ДЛЯ НЕСКОЛЬКИХ ОБЛАСТНЫХ ЦЕНТРОВ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ	105
Пашинский В.А. к.т.н., доцент, Бутько А.А. <i>Международный государственный экологический институт им. А.Д. Сахарова БГУ, г. Минск</i>	
СРЕДНЕСРОЧНЫЕ И ДОЛГОСРОЧНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СУММАРНОЙ, ПРЯМОЙ И РАССЕЯННОЙ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ	108
Русан В.И. д.т.н., профессор, Сычик В.А. д.т.н., профессор УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь	
РЕЧНАЯ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ	110
Селюк Ю. Н., ст. преподаватель УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь	
КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ	112
Стручаев Н.И. к.т.н., доцент, Постол Ю.А., к.т.н., доцент, Гулевский В.Б., к.т.н., доцент <i>Таврический государственный агротехнологический университет имени Дмитрия Моторного, Украина</i>	
КОМПАКТНЫЙ БИОГАЗГЕНЕРАТОР	115
Шаталов Е.С., магистрант, Вельченко А.А., к.т.н., доцент УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь	
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ МАЛОГАБАРИТНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК С ПОМОЩЬЮ ДВУХОСНОЙ СИСТЕМЫ СЛЕЖЕНИЯ ЗА СОЛНЦЕМ	117
Щербина С.А., магистрант, Вельченко А.А., к.т.н., доцент УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь	
РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ГИБРИДНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИЭ	119

Яцко П.В., магистр МГЭУ им. А.Д. Сахарова БГУ, Красовский В.И., к.т.н., доцент Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск ПРИМЕНЕНИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ И АККУМУЛИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ	122
СЕКЦИЯ 3 ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ В АПК	
Баран А.Н., Пашинский В.А., Липницкий Л.А., к.т.н., доценты <i>Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А.Д. Сахарова</i> , Селюк Ю.Н. ст. преподаватель <i>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»</i> , Минск, Республика Беларусь	
ИССЛЕДОВАНИЕ СВЕТОДИОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА И ИХ ВЛИЯНИЯ НА ПИТАЮЩУЮ СЕТЬ	125
Бойко М.А., ст. преподаватель, Мацкело В.В., ассистент <i>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»</i> , Минск, Республика Беларусь	
ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОГО ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ПОЛИВОЧНОЙ ВОДЫ	128
Бондарчук О.В., Пашинский В.А., к.т.н., доцент, Метельский А.В. <i>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»</i> , Минск, Республика Беларусь	
ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА СОЛОДА ОБРАБОТКОЙ ПИВОВАРЕННОГО ЯЧМЕНЯ ПЕРЕМЕННЫМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПОЛЕМ	129
Герасимович Л.С., академик, Михайлов В.В., Заец А.Н. <i>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»</i> , Минск, Республика Беларусь, <i>ОАО «Связьинвест»</i> , г. Минск	
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ И КОНТРОЛЛИНГ СПЕКТРА И ИНТЕНСИВНОСТИ ИЗЛУЧЕНИЯ СВЕТОДИОДНЫХ ФИТООБЛУЧАТЕЛЕЙ В ТЕПЛИЧНОМ КОМПЛЕКСЕ	131
Герасимович Л.С., д.т.н., профессор, Коховец Ж.А., ассистент <i>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»</i> , Минск, Республика Беларусь	
К ОБОСНОВАНИЮ МЕТОДА НОРМИРОВАНИЯ РАСХОДА ЭНЕРГОРЕСУРСОВ НА МЯСОКОМБИНАТАХ	134

Городецкая Е.А., к.т.н., доцент, Городецкий Ю.К., Роговой А.А., Кучук Е. <i>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь</i> ДИЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СЕПАРАЦИЯ – ПЕРСПЕКТИВНАЯ ПОДГОТОВКА СЕМЯН К ПОСЕВУ	136
Гулевский В.Б., к.т.н., доцент, Постол Ю.А., к.т.н., доцент, Стручаев Н.И. к.т.н., доцент, Беспалько В.В, студентка – магистрант <i>Таврический государственный агротехнологический университет имени Дмитрия Моторного, Украина</i> ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ ПОД ДЕЙСТВИЕМ МАГНИТНОГО ПОЛЯ	138
Дайнеко В.А., к.т.н., доцент, Равинский Н.А., ст. преподаватель, Ковширко Е.Н., магистрант <i>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь</i> ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ВОДОСНАБЖАЮЩИХ УСТАНОВОК	140
Демидков С.В., к.т.н., доцент, Коротинский В.А., к.т.н., доцент <i>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь</i> СПОСОБ ХОЛОДНОЙ ПАСТЕРИЗАЦИИ МОЛОКА	142
Дубодел И.Б., к.т.н., доцент, Кардашов П.В., к.т.н., доцент, Корко В.С., к.т.н., доцент <i>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь</i> ОБОСНОВАНИЕ И ВЫБОР ТИПА МЕМБРАН ЭЛЕКТРОКОАГУЛЯТОРА БЕЛКОВ КАРТОФЕЛЬНОГО СОКА ...	144
Заяц Е.М., д.т.н., профессор, Янко М.В. <i>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь</i> МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СКОРОСТИ РОСТА ХЛЕБОПЕКАРНЫХ ДРОЖЖЕЙ <i>SACCHAROMYCES CEREVISIAE</i>	146
Иванов В.П., д.т.н., профессор, Дронченко В.А. <i>Полоцкий государственный университет</i> ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС УТИЛИЗАЦИИ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ РЕМОНТНОГО ПРОИЗВОДСТВА	148

Иванов В.П., д.т.н., профессор; Дронченко В.А.; Семенов В.И., к.т.н. <i>Полоцкий государственный университет</i> ВЛИЯНИЕ ВЛАГОСОДЕРЖАНИЯ ЭМУЛЬСИИ НА ОСНОВЕ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ НА КОНЦЕНТРАЦИЮ ОКСИДОВ АЗОТА В ДЫМОВЫХ ГАЗАХ	151
Иванов Д.М., ассистент, Нефедов С.С., ассистент УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь ВЕКТОРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ КАК НАИБОЛЕЕ ПРОГРЕССИВНЫЙ МЕТОД УПРАВЛЕНИЯ ПОТОКОСЦЕПЛЕНИЕМ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ МОМЕНТОМ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ	154
Кардашов П.В., к.т.н., доцент, Корко В.С., к.т.н., доцент, Дубодел И.Б., к.т.н., доцент, Мрыхин Ф.И., магистрант УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь ОБРАБОТКА СЕМЯН ПЕТРУШКИ ЭЛЕКТРОАКТИВИРОВАННЫМИ РАСТВОРАМИ	157
Ковалев В. А., к.т.н., доцент, Скочек И. И., ст. преподаватель УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь ИЗМЕРЕНИЕ ОБЪЕМА ЖИДКОСТИ В РЕЗЕРВУАРАХ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ	158
Козорез А.С., Филиповец П.М., ОАО «Завод Промбурвод», г. Минск Башко Ю.А. Государственное научное учреждение «Институт жилищно-коммунального хозяйства Национальной академии наук Беларуси» г. Минск ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СИНХРОННОГО ПРИВОДА ДЛЯ ВОДОПОДЪЕМНОГО ОБОРУДОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ	161
Кривовязенко Д.И., ст. преподаватель УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ИЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТОЧЕК БЕЛКОВ МОЛОЧНОЙ СЫВОРОТКИ ПРИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОМ СПОСОБЕ КОАГУЛЯЦИИ	164
Крутов А.В., к.т.н., доцент, Шутко П.В., студент, УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь К ВОПРОСУ ПЕРЕВОДА САМОХОДНОГО КОРМОРАЗДАТЧИКА НА ЭЛЕКТРОПРИВОД ОТ ТЯГОВОГО АККУМУЛЯТОРА	166

Кулаковский Д.А., Сакович Е.А., Дышко М.С. УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь	
ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕГРОЭФФЕКТИВНОСТИ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ЗА СЧЕТ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СТАТОРНОЙ ОБМОТКИ	169
Нитиевский С.А. УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь	
ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ТЯГОВЫМИ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ	171
Павлович И.А., ассистент, Нефедов С.С., ассистент, Богданович В.В., ассистент, Винцовский Д.Ю., студент УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь	
ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ КОНТАКТНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ	173
Попова И.А., к.т.н., доцент, Курашкин С.Ф., к.т.н., доцент, Попрядухин В.С., к.т.н., доцент Таврический государственный агротехнологический университет имени Дмитрия Моторного, г. Мелитополь, Украина	
УСТРОЙСТВО ЗАЩИТЫ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ	175
Попова И.А., к.т.н., доцент, Курашкин С.Ф., к.т.н., доцент, Квитка С.О., к.т.н., доцент Таврический государственный агротехнологический университет имени Дмитрия Моторного, г. Мелитополь, Украина	
АНАЛИЗ ПРИЧИННО-СЛЕДСТВЕННЫХ СВЯЗЕЙ АВАРИЙНЫХ РЕЖИМОВ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ДЛЯ ВЫБОРА ЭФФЕКТИВНОЙ ЗАЩИТЫ	177
Прищепов М.А., д.т.н., доцент; Рутковский И.Г. УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь	
МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ПРОТОЧНОГО ЭЛЕКТРОДНОГО НАГРЕВАТЕЛЯ	180
Прищепова Е.М., УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь	
СТРУКТУРНАЯ СХЕМА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ВЕКТОРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ	182
Синица С.И., ст. преподаватель, Андрейчик А.Е., ст. преподаватель УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь	
АНАЭРОБНАЯ ОБРАБОТКА ОТХОДОВ АПК	185

Сычик В.А. д.т.н., профессор, Русан В.И. д.т.н., профессор <i>Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь</i> РЕГУЛЯТОР НАГРУЗКИ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ	187
Шатковский А.И., к.т.н., Базулина Т.Г. <i>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь</i> О МЕТОДАХ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕСИММЕТРИЧНЫХ АСИНХРОННЫХ МАШИН	190
Шатковский А.И., к.т.н., Базулина Т.Г., Виничек В.С. <i>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь</i> ОПЕРАТИВНАЯ ДИАГНОСТИКА ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ В УСЛОВИЯХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА	192
Штемпель О.П., к.т.н., доцент, Пилипенко С.В., к.т.н., доцент, Фруцкий В.А., к.т.н., доцент. <i>Полоцкий государственный университет, Новополоцк</i> ВОССТАНОВЛЕНИЕ ШТАМПОВОЙ ОСНАСТКИ ПЛАЗМЕННОЙ НАПЛАВКОЙ	195
Челомбитько М.А., к.с.-х.н., доцент, Корко В.С., к.т.н., доцент <i>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь</i> ИННОВАЦИОННЫЕ ИРРАДИАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ КОНСЕРВИРОВАНИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ	196
СЕКЦИЯ 4 АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В АПК	
Барашко О.Г., к.т.н., доцент, Кобринец В. П. к.т.н., доцент, Коровкина Н. П. к.пед.н., доцент <i>Белорусский государственный технологический университет, г. Минск</i> ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ SCADA-СИСТЕМЫ ДЛЯ КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК	199
Бубенько Д.А., Якубовская Е.С. <i>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь</i> ПУТИ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ПРИ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ПОДГОТОВКИ СЫРЬЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ СПИРТА	200

Говрас К.А., магистрант; Барайшук С.М., к.ф.-м.н., доцент <i>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь</i>	
АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МИКРОКЛИМАТОМ ОВОЩЕХРАНИЛИЩА	202
Гируцкий И.И., д.т.н., доцент; Сеньков А.Г., к.т.н., доцент; Гриб А.Ф., к.ф.-м.н., Ракевич Ю.А. <i>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь</i>	
ДИАГНОСТИКА МАСТИТА КОРОВ ТЕРМОГРАФИЧЕСКИМ МЕТОДОМ	204
Жур А.А., ст. преподаватель, Гриб А.Ф. к.ф.-м.н. <i>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь</i>	
ПРАКТИКО ОРИЕНТИРОВАННАЯ ПОДГОТОВКА СТУДЕНТОВ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «МОНТАЖ СРЕДСТВ АВТОМАТИКИ» . . .	206
Кулаков Г.Т., д.т.н., профессор, Кулаков А.Т., к.т.н., доцент, <i>Белорусский национальный технический университет Ковалев В.А., к.т.н., доцент УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь</i>	
МОДИФИКАЦИЯ ИНВАРИАНТНЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ С ВЫДЕЛЕНИЕМ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ ВНЕШНИХ ВОЗМУЩЕНИЙ	208
Матвеенко И.П., к.т.н., доцент, Букенов А.В. <i>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь</i>	
МОДЕЛИРОВАНИЕ СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ШАГОВЫМ ДВИГАТЕЛЕМ НА ОСНОВЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА AVR	211
Несенчук А.А., к.т.н., доцент <i>Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси, г. Минск</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ И СИНТЕЗ УСТОЙЧИВЫХ СЕМЕЙСТВ ПОЛИНОМОВ НА ОСНОВЕ ДОМИНИРУЮЩЕГО ПОЛЯ	214
Опейко О. Ф., к.т.н., доцент <i>Белорусский национальный технический университет г. Минск</i>	
СИНТЕЗ ПИД РЕГУЛЯТОРА ЭЛЕКТРОПРИВОДА ТУРБОМЕХАНИЗМА	216
Панасенко С.И., преподаватель <i>УО «Слуцкий государственный колледж», г. Слуцк</i>	
ПРИМЕНЕНИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО КОНТУРА АДАПТИВНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ ВЛИЯНИЯ НЕСТАБИЛЬНОСТИ ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПЕЧИ . . .	219

Полищук Е.И., Якубовская Е.С. УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ КОТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКОЙ КАК СПОСОБ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ	221
Рудаков А.С., Молодечкина Т.В., к.т.н., доцент Полоцкий государственный университет, г. Новополоцк АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА КОНТРОЛЯ ЗА СОДЕРЖАНИЕМ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ БИОМАССС	223
Сагындикова А.Ж. ассоциированный профессор, доктор PhD, Бижанов Е.А. магистрант Алматинский университет энергетики и связи, г. Алматы АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ.	225
Сеньков А.Г., к.т.н., доцент; Гируцкий И.И., д.т.н., доцент УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь ЧИСЛЕННАЯ МОДЕЛЬ НЕСТАЦИОНАРНОГО ПРОЦЕССА ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ЧЕРЕЗ МНОГОСЛОЙНУЮ СТЕНУ	229
Сеньков А.Г., к.т.н., доцент; Матвейчук Н.М., к.ф.-м.н. УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЛОСКОЙ СТЕНЫ ПРИ НЕСТАЦИОНАРНОМ ТЕПЛОВОМ ПРОЦЕССЕ	232
Станишевский И.В., к.ф.-м.н., доцент УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь ОПРЕДЕЛЕНИЕ RLC-ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ СИМПЛЕКС-МЕТОДОМ НЕЛДЕРА-МИДА	234
Тарновский В.Ю., Глобаз Д.В., Якубовская Е.С. УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь ПУТИ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ПРИ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ТВОРОГОИЗГОТОВЛЕНИЯ	237
Чиж А.В., Матвеев И.П., к.т.н., доцент УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь МОДЕЛИРОВАНИЕ СХЕМ ДАТЧИКОВ В PROTEUS	239
Кротюк Ю.М., к.т.н., доцент, Гривачевский А.Г., к.т.н., доцент Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси, Минск АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРИЦЕПНЫХ И НАВЕСНЫХ АГРЕГАТОВ	241

СЕКЦИЯ 5 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ В ИННОВАЦИОННОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

Барайшук С.М. к.ф.-м.н., доцент, Павлович И.А., Богданович В.В.,
УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,
Минск, Республика Беларусь

ПРИМЕНЕНИЕ ГИДРОЛИЗОВАННОГО ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛА
ДЛЯ СНИЖЕНИЯ СЕЗОННЫХ КОЛЕБАНИЙ
СОПРОТИВЛЕНИЯ ЗАЗЕМЛЕНИЯ 244

Барайшук С.М. к.ф.-м.н., доцент, УО «Белорусский государственный
аграрный технический университет», Минск, РБ Х.Л. Хуан
магистр физики, директор Чжоньданский педагогический
университет, Чжоньдан, КНР

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ПРИ
ИЗУЧЕНИИ СМАЧИВАЕМОСТИ 246

Бобрович О.Г., к.ф.-м.н., доцент, Белорусский государственный
технологический университет Барайшук С.М., к.ф.-м.н., доцент
Белорусский государственный аграрный технический университет,
Минск

СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТИ СПЛАВА AMr_2M , ФОРМИРУЕМОЙ
ИОННО-АССИТИРУЕМЫМ ОСАЖДЕНИЕМ МОЛИБДЕНА И
ТИТАНА 249

Будзинский М. д.ф.-м.н., Институт физики Университета
М. Кюри-Склодовской, Люблин, Польша Барайшук С.М. к.ф.-м.н.,
доцент Белорусский государственный аграрный технический
университет, Минск

ИЗМЕНЕНИЕ СОСТАВА ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ ОБЛАСТЕЙ
КРЕМНИЯ ПРИ РАБОТЕ РАДИОИЗОТОПНОГО
ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРА НА ОСНОВЕ $60Co$... 252

Вертель М. к.ф.-м.н., Институт физики, университета М. Кюри-
Склодовской, Люблин, Польша Барайшук С.М. к.ф.-м.н., доцент,
Белорусский государственный аграрный технический университет,
А. Туровец, Институт физики, университета М. Кюри-Склодовской,
Люблин, Польша С.И. Янушик Белорусский государственный
аграрный технический университет, Минск

ТОПОЛОГИЯ ПОВЕРХНОСТИ КОБОЛЬТОВОГО ПОКРЫТИЯ
НА КРЕМНИИ ПОЛУЧЕННОГО ИОННО-АССИСТИРОВАННЫМ
ОСАЖДЕНИЕМ 255

Гуртовой В.Г., Шёлковая Т.В., к.ф.-м.н., Чумак В.А. ГНПО «Научно-
практический центр Национальной академии наук Беларуси по
материаловедению», Минск

СТРУКТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМЫ $Cu_2CdSn_{1-x}Si_xSe_4$ 257

Долгий В.К., к.ф.-м.н., доцент УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь Мисевич А.В., к.ф.-м.н., доцент; Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет» ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛЕНОК БЕЗМЕТАЛЛЬНОГО ФТАЛОЦИАНИНА	260
Дятлова Е.М., к.т.н., доцент, Плышевский С.В., к.т.н., доцент, Сергиевич О.А., к.т.н., УО «Белорусский государственный технологический университет», Шевченко А.А., к.т.н., доцент УО «Белорусский государственный аграрный технический университет» ТЕРМОСТОЙКИЕ КЛАДОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ УСТАНОВОК В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ И КОММУНАЛЬНОМ ХОЗЯЙСТВЕ	263
Зажогин А.П., д.ф.-м.н., профессор; <i>Белорусский государственный университет, г. Минск</i> Акулич В.А., студент; Патапович М.П., к.ф.-м.н. УО «Белорусская государственная академия связи», г. Минск ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КАЛЫЦИЯ И АЛЮМИНИЯ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЛАЗЕРНЫХ ИМПУЛЬСОВ НА ТОЧКУ ПОВЕРХНОСТИ СТАЛИ С НЕДЕФОРМИРУЕМЫМИ ОКСИДНЫМИ ВКЛЮЧЕНИЯМИ	265
Зажогин А.П., д.ф.-м.н., профессор; <i>Белорусский государственный университет, г. Минск</i> Малец М.А., студентка; Патапович М.П. ² к.ф.-м.н. УО «Белорусская государственная академия связи», г. Минск ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ МОДИФИКАЦИИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ АТОМНО-ЭМИССИОННОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ	268
Бушинский М.В., к.ф.-м.н., Терешко Н.В., к.ф.-м.н., Чобот А.Н., к.ф.-м.н., Мантыцкая О.С., к.ф.-м.н., <i>НПЦ НАН Беларуси по материаловедению, Минск</i> Чобот Г.М., к.ф.-м.н., доцент, Добрянский В.М., д.т.н., профессор <i>Белорусский государственный аграрный технический университет, Минск</i> УПРУГИЕ СВОЙСТВА И МАГНИТНОЕ СОСТОЯНИЕ ПЕРОВСКИТА $Sr_{1-x}Y_xCoO_{3-\delta}$ ($x=0.2$)	270
Королевич М.В., д.ф.-м.н., доцент УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь СТРУКТУРА И СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕТИЛ-И НИТРОПРОИЗВОДНЫХ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ГЛЮКОПИРАНОЗИДОВ	273

- Королевич М.В., д.ф.-м.н., доцент, Андрианов В.М., д.ф.-м.н.,
Болодон В.Н., к.биол.н., доцент, Быкова С.Л., Дымонт В.П., к.ф.-м.н.,
доцент *УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь*
КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БАЗ ДАННЫХ И
ТЕОРЕТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ИК СПЕКТРОСКОПИИ ДЛЯ
УСТАНОВЛЕНИЯ СТРОЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ... 275
- Мисевич А.В., к.ф.-м.н., доцент; Лаппо А.Н., ассистент *Учреждение
образования «Белорусский государственный технологический
университет»* Долгий В.К., к.ф.-м.н., доцент *УО «Белорусский
государственный аграрный технический университет», Минск,
Республика Беларусь*
ФОТОВОЛЬТАИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В ГЕТЕРОСТРУКТУРЕ НА
ОСНОВЕ ФТАЛОЦИАНИНА МЕДИ И ПЕРИЛЕНА 277
- Мисевич А.В., к.ф.-м.н., доцент; Лаппо А.Н., ассистент *Учреждение
образования «Белорусский государственный технологический
университет»* Долгий В.К., к.ф.-м.н., доцент *УО «Белорусский
государственный аграрный технический университет», Минск,
Республика Беларусь*
ВЛИЯНИЕ АДсорбированного КИСЛОРОДА НА
ФОТОПРОВОДИМОСТЬ ПЛЕНОК ФТАЛОЦИАНИНА СВИНЦА... 280
- Михалкович О.М., *Белорусский государственный педагогический
университет им. М. Танка* Куликаускас В.С. к.ф.-м.н., *НИИ Ядерной
физики им.Д.В. Скобельщина МГУ М.В. Ломоносова, Москва Россия*
С.М. Барайшук к.ф.-м.н., доцент *Белорусский государственный
аграрный технический университет, Минск*
СОСТАВ И СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТИ МОЛИБДЕНОВОЙ
ПЛЕНКИ, СФОРМИРОВАННОЙ НА СТЕКЛЕ МЕТОДОМ
ОПАСИ 282
- Рагимов Р.Н. д.ф.-м.н., Д.Г.Араслы, А.А. Халилова к.ф.-м.н.,
Институт Физики НАН Азербайджана, Баку, Азербайджан
Барайшук С.М. к.ф.-м.н., доцент *Белорусский государственный
аграрный технический университет, Минск*
ТОПОГРАФИЯ ПОВЕРХНОСТИ ТОНКИХ ПЛЕНОК
ЭВТЕКТИЧЕСКОГО КОМПОЗИТА GASB-CRSB 284
- Stanchik A.V., *SSPA «Scientific-Practical Materials Research Centre
of National Academy of Sciences of Belarus», Minsk, Belarus*
Baraishuk² S.M., PhD, *Belarusian State Agrarian Technical University,
Minsk, Belarus* Wiertel M., PhD, Budzynski M., Doctor of Science
Maria Curie-Skłodowska University, Lublin, Poland
PROGRESS IN THIN-FILM Cu₂ZnSnSe₄ SOLAR CELLS 286

Станчик А.В., ГНПО «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по материаловедению», Минск, РБ Жигулин Д.В. ОАО «Интеграл», Минск, Республика Беларусь ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВОГО И ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПРЕКУРСОРОВ ZnS/Sn/Cu ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК Cu ² ZnSn(S,Se) ₄	289
Ткаченко Т.М. к.ф.-м.н., доцент, Барайшук С.М. к.ф.-м.н., доцент, Белорусский государственный аграрный технический университет, П. Будзинский к.ф.-м.н., Люблинский Технический университет, Люблин, Польша З. Суровец к.ф.-м.н. Институт физики Университета М. Кюри-Склодовской, Люблин, Польша ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ НЕОДИМОВОГО МАГНИТА ПРИ ЕГО ЭКСПЛУАТАЦИИ В КОРРОЗИОННО АКТИВНЫХ СРЕДАХ . . .	292
Ткаченко Т.М., к.ф.-м.н., доцент; Белорусский государственный аграрный технический университет, Минск Митюк В.И., к.ф.-м.н., ст.н.с. НПЦ НАН Беларуси по материаловедению, Минск МАГНИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ СПЛАВОВ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ С ЭЛЕМЕНТАМИ IV-VI ГРУПП . . .	295
Thomas M.F., Department of Physics, Oliver Lodge Laboratory, the University of Liverpool, Liverpool, UK Ткаченко Т.М. УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь МАГНИТНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В FeSb ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ	298
Ткаченко Т.М., к.ф.-м.н., доцент, Белорусский государственный аграрный технический университет. Минск, Республика Беларусь Митюк В.И., к.ф.-м.н., ст.н.с. НПЦ НАН Беларуси по материаловедению, Минск, РБ А.И. Мартынюк, ст. преподаватель Международный университет "МИТСО". Минск, Республика Беларусь СПЛАВ Mn _{0.99} AsFe _{0.01} – МАТЕРИАЛ ДЛЯ РЕФРИЖЕРАТОРОВ . .	300
Тульев В.В., к.ф.-м.н., доцент, Белорусский государственный технологический университет, Минск Мышковец М.В. Белорусский национальный технический университет, Минск РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ПО ГЛУБИНЕ В СТРУКТУРАХ ME/TI, ПОЛУЧЕННЫХ ИОННО-АССИСТИРУЕМЫМ ОСАЖДЕНИЕМ	302

ДЛЯ ЗАМЕТОК

Научное издание

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ – ВАЖНЕЙШЕЕ УСЛОВИЕ
ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ АПК

Материалы
Международной научно-технической конференции

(Минск, 19–20 декабря 2019 года)

Ответственный за выпуск *И. В. Протосовицкий*
Технический редактор *А. И. Зеленкевич*
Компьютерная верстка *А. И. Зеленкевича*
Дизайн обложки *Д. О. Сенькевич*

Подписано в печать 17.12.2019 г. Формат 60×84¹/₁₆.
Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 18,63. Уч.-изд. л. 14,72. Тираж 50 экз. Заказ 927.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Учреждение образования
«Белорусский государственный аграрный технический университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий
№ 1/359 от 09.06.2014.
№ 2/151 от 11.06.2014.
Пр-т Независимости, 99-2, 220023, Минск.