

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

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

**ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ – ВАЖНЕЙШЕЕ
УСЛОВИЕ ИННОВАЦИОННОГО
РАЗВИТИЯ АПК**

**Сборник научных статей
Международной научно-технической конференции**

(Минск, 23–24 ноября 2017 г.)

**Минск
БГАТУ
2017**

Энергосбережение – важнейшее условие инновационного развития АПК : материалы Международной научно-технической конференции (Минск, 23–24 ноября 2017 г.) / под ред. М. А. Прищепова. – Минск : БГАТУ, 2017. – 400 с. – ISBN 985-985-519-870-4.

В сборнике 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, а также энергосберегающим технологиям и техническим средствам для производства, переработки и хранения сельскохозяйственной продукции, последипломному образованию специалистов, управлению качеством образования в вузе. В докладах отражены теоретические и практические достижения ученых Беларуси, России, Украины, Великобритании, Казахстана, Польши, Узбекистана, дается анализ состояния энергетики АПК и представлены перспективы ее развития.

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

Под редакцией доктора технических наук, доцента М. А. Прищепова

Редакционная коллегия:

Прищепов М. А., д-р тех. н., доц.;

Протосовицкий И. В., канд. тех. н., доц.;

Герасимович Л. С., акад. НАН Беларуси, д-р тех. н., проф.;

Русан В. И., д-р тех. н., проф.;

Забелло Е. П., д-р тех. н., проф.

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

ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

Протосовицкий И.В., к.т.н., доцент

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

ИСТОРИЯ СТАНОВЛЕНИЯ АГРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА - 60 ЛЕТ

Агроэнергетический факультет – единственный в республике факультет обеспечивает подготовку квалифицированных кадров в сфере энергетики АПК. На факультете ведется подготовка специалистов по двум специальностям: «Энергетическое обеспечение сельскохозяйственного производства» (электроэнергетика и теплоэнергетика), «Автоматизация технологических процессов и установок (сельское хозяйство)».

Свою образовательную деятельность факультет начал с 15 ноября 1957 года. Первым деканом факультета «Электрификации сельского хозяйства» был назначен Дойников Борис Дмитриевич. Однако на первый курс на специальность «Электрификация сельского хозяйства» было принято 50 человек, еще в 1954 году, когда был открыт Белорусский институт механизации и электрификации сельского хозяйства, который начал готовить кадры по специальностям «Механизация сельского хозяйства» и «Электрификация сельского хозяйства».

Прием студентов в количестве 50 человек осуществлялся на факультет до 1963 года. В 1963 году была введена специальность «Автоматизация сельскохозяйственного производства», а в 1970 году — «Электроснабжение сельского хозяйства». На эти специальности осуществлялся прием по 25 человек.

В 1978 году от факультета электрификации выделилась отдельная специальность и был создан факультет автоматизации сельскохозяйственного производства. Деканом нового факультета был назначен доцент кафедры электротехнологии Карасенко В.А.. Прием на оба факультета осуществлялся по 125 человек.

8 июля 1987 года факультет автоматизации был объединен с факультетом электрификации и факультет стал называться — электрификации и автоматизации сельского хозяйства.

15 июля 1997 года факультет был переименован в агроэнергетический (АЭФ). В разные годы факультет возглавляли Кудрявцев Иван Федорович, Карасев Борис Васильевич, Калинин Лев Андреевич, Герасимович Леонид Степанович, Янукович Генрих Иосифович, Коротинский Виктор Андреевич, Карасев Олег Борисович.

За время существования факультета было подготовлено около 16 тысяч инженеров-электриков.

В настоящее время на факультете более 750 студентов, которых обучают 79 высококвалифицированных преподавателей, в том числе 9 докторов и 34 кандидатов наук.

Большой вклад в развитие и становление факультета в научной, методической и учебной работе оказали такие сотрудники, как Кудрявцев И.Ф., Карасенко В.А., Сердешнов А.П., Сапун Г.А., Герасимович Л.С.. Много сил и энергии отдали для успешного функционирования факультета в разные годы деканы Калинин Л.А., Янукович Г.И.

За большой вклад в развитие аграрного образования были присвоены почетные звания «Заслуженный работник высшей школы БССР» Кудрявцеву И.Ф. и «Заслуженный работник образования Республики Беларусь» Герасимовичу Л.С..

Среди выпускников факультета есть руководители крупных промышленных предприятий, предприятий электрических сетей и энергообъединений, директора ведущих предприятий и хозяйств агропромышленного комплекса в республике и за рубежом. Среди них: генеральный директор «Гродноэнерго» Шатэрник В.В.; Абраменко Е.Б. председатель Постоянной комиссии по аграрной политике Палаты представителей Национального собрания РБ; Мишук Е.С. председатель Исполнительного комитета Электроэнергетического совета СНГ и многие другие. Следует отметить, что первый «Заслуженный энергетик Республики Беларусь» наш выпускник Лобан П.П.

На факультете налажены тесные интеграционные связи учебного процесса с производством, а именно со специализированными эксплуатационными, монтажными и ремонтными предприятиями и хозяйствами, где студенты проходят производственную практику, совершенствуя свое профессиональное мастерство. Отдельные кафедры имеют свои филиалы на производственных предприятиях и в научно-исследовательских институтах. Студенты имеют воз-

возможность проходить стажировку за рубежом: в Германии, Голландии, Великобритании.

Перспективы развития факультета связаны с внедрением электрифицированных и автоматизированных установок в технологические процессы растениеводства и животноводства, совершенствованием электрооборудования и средств автоматизации, развитием новых экологически чистых технологий сельскохозяйственного производства.

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

**Полещук Л.Л., заместитель начальника,
Главное управление технического прогресса и энергетики,
государственного надзора за техническим состоянием машин и
оборудования (Главгостехнадзор), Минск, Республика Беларусь**

ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЭНЕГОСБЕРЕЖЕНИЯ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Для Республики Беларусь, импортирующей около 85 % топливно-энергетических ресурсов, вопросы энергосбережения являются весьма актуальными.

При обращении с ежегодным Посланием к белорусскому народу и Национальному собранию 21 апреля 2016 года Президент Республики Беларусь Александр Григорьевич Лукашенко отметил, что стратегическим направлением повышения конкурентоспособности экономики является снижение всех видов затрат на производство и реализацию продукции. Оно касается каждого рабочего места, технологического участка, завода, сельхозпредприятия, региона и отрасли.

Необходимость повышения конкурентоспособности экономики, снижения затрат на производство продукции, в том числе и за счет реализации энергосберегающих мероприятий, в Республике Бела-

реть регламентирована нормативно-правовыми актами, основными из которых являются: Закон Республики Беларусь от 8 января 2015 г. № 239-З «Об энергосбережении», Указ Президента Республики Беларусь от 23 февраля 2016 г. № 78 «О мерах по повышению эффективности социально-экономического комплекса Республики Беларусь», Директива Президента Республики Беларусь от 14 июня 2007 г. № 3 «О приоритетных направлениях укрепления экономической безопасности государства» и постановление Совета Министров Республики Беларусь от 28 марта 2016 г. № 248 «Об утверждении Государственной программы «Энергосбережение» на 2016-2020 годы».

Понятия энергоэффективность и энергосбережение самодополняющие и, в конечном счете, являются одним из путей снижения себестоимости производимой продукции, повышения конкурентоспособности реального сектора экономики и экономики Республики Беларусь в целом.

В агропромышленном комплексе Республики Беларусь в настоящее время потребляется около 1,4 млн. т у.т. топливно-энергетических ресурсов или 6 % от их общего потребления по республике. В разрезе видов энергии доля электрической энергии и котельно-печного топлива составляет 41,4 % и 52,4 %, соответственно, причем в котельно-печном топливе доля местных видов топлива достигает 16,2 %.

По направлениям деятельности на производство сельскохозяйственной продукции затрачивается 43,7 % обобщенных энергозатрат, на ее переработку – 53,3 %, и 3 % составляют прочие обобщенные энергозатраты.

Основной вклад в повышение энергоэффективности аграрной отрасли вносят мероприятия по внедрению в организациях АПК биогазовых комплексов, новых энергоэффективных технологий, технологических процессов и оборудования с более высоким коэффициентом полезного использования топлива и энергии.

На сегодняшний день в агропромышленном комплексе Республики Беларусь построено 10 биогазовых комплексов общей мощностью около 11 МВт, эксплуатируется 11 котлов общей мощностью около 9 МВт на отходах зернопереработки, 1,2 тыс. зерносушилок на местных видах топлива. На мясо- и молокоперерабатывающих предприятиях внедрено около 168 МВт современ-

ного энергоэффективного холодильного оборудования и около 25 МВт когенерационных и тригенерационных мощностей.

За период с января по сентябрь 2017 года потребление местных видов топлива в агропромышленном комплексе увеличилось на 3,7 % к аналогичному периоду 2016 года.

Стратегическая цель деятельности организаций отрасли в области энергосбережения направлена на дальнейшее снижение энергозатрат на производство продукции за счет внедрения новых современных энергоэффективных технологий и оборудования, увеличения использования местных видов топлива и вторичных энергетических ресурсов.

Реализации энергосберегающих мероприятий должна позволить к 2020 году снизить удельные энергозатраты на 12-16%, ввести в эксплуатацию биогазовые комплексы общей электрической мощностью до 32 МВт, увеличить комбинированное производство электрической и тепловой энергии к уровню 2015 года на 10-15%, увеличить использование местных видов топлива на 5-7%, снизить потребление светлых нефтепродуктов на 6-8%.

Другими словами, реализация мероприятий по энергосбережению должна обеспечить к 2020 году снижение доли энергозатрат в себестоимости выпускаемой сельскохозяйственной продукции на 1,1-2,3 % за счет снижения потребления ТЭР в отрасли на 23-28 тыс. т у.т.

**Русан В.И. д.т.н., профессор энергетики и электротехники
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь**

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АПК В КОНТЕКСТЕ НОВОЙ РЕДАКЦИИ КОНЦЕПЦИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Ключевые слова: концепция, энергетическая безопасность, энергообеспечение, надежность энергообеспечения, экологическая безопасность, возобновляемые источники энергии.

Аннотация. Изложены мировые тенденции, принципы и направления обеспечения энергетической безопасности. Рассмотрены вопросы энергетического обеспечения АПК на основе использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Уделено

внимание подготовке высококвалифицированных специалистов для развития возобновляемой энергетики в Беларуси.

Проблема энергетической безопасности в последнее время является чрезвычайно актуальной в мире. Энергетическая безопасность обеспечивается на различных уровнях: глобальном, межгосударственном, национальном, региональном и местном. В глобальном смысле энергетическая безопасность это обеспечение баланса между потребностями в топливно-энергетических ресурсах (ТЭР) и возможностями их удовлетворения.

Мировой энергетический совет (МИРЭС) в 1992 году определил это понятие следующим образом: «Энергетическая безопасность или безопасность энергообеспечения выражается в уверенности в том, что энергия будет иметься в наличии в том количестве и того качества, которые необходимы при данных экономических условиях». Основными направлениями обеспечения энергетической безопасности любого государства в Море являются: энергетическая независимость, диверсификация энергоресурсов и их поставок, надежность энергоснабжения и энергоэффективность.

В соответствии с новой редакцией утвержденной в 2015 г. Концепции энергетической безопасности Республик Беларусь энергетическая безопасность это состояние защищенности граждан, общества, государства, экономики от угроз дефицита в обеспечении их потребностей в энергии экономически доступными энергетическими ресурсами приемлемого качества, от угроз нарушения бесперебойности энергоснабжения. Обеспечение энергетической безопасности должно осуществляться путем развития собственной энергосырьевой базы, диверсификации ТЭР по видам и странам, снижения энергоемкости ВВП. С этой целью разработана государственная программа «Энергосбережение» на 2016-2020 годы. В данной программе предусмотрены мероприятия по дальнейшему повышению энергоэффективности в первую очередь за счет внедрения современных энергоэффективных технологий, энергосберегающего оборудования и материалов во всех отраслях экономики и отдельных технологических процессах, а также за счет структурной перестройки экономики, направленной на развитие менее энергоемких производств, активизации работы по популяризации энергосбережения и рационального использования ТЭР.

В сельском хозяйстве основными направлениями являются:

- реализация комплексного подхода к энергоснабжению агрогородков за счет использования местных ТЭР, в том числе ВИЭ);
- 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 будет осуществляться 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 2020 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.

Одним из важнейших факторов энергетической безопасности является повышение уровня обеспеченности потребности в энергии за счет собственных энергоресурсов. Повышение энергетической самостоятельности должно осуществляться на основе максимального возможного вовлечения в топливно-энергетический баланс местных ТЭР и ВИЭ. Основное преимущество ВИЭ – неисчерпаемость и экологическая чистота.

В докладе излагаются достижения и опыт развития возобновляемой энергетики в Беларуси. По состоянию на 2016 г. в Республике Беларусь эксплуатировалось 65 ВЭУ общей установленной мощностью 56,7 МВт, 50 ГЭС (33,5 МВт), 17 биогазовых установок (25,7 МВт), 31 СЭС (37 МВт). Эти данные без учета внедрения энергоустановок на основе ВИЭ в частном секторе: загородных домах граждан, агроусадьбы, дачи и др.

В рамках реализации Государственной программы «Энергосбережение» на 2016-2020 год, утвержденной постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 26 марта 2016 № 248, запланировано строительство биогазовых установок суммарной мощностью не менее 30 МВт, гидроэлектростанций – 80 МВт, солнечных электростанций – 250 МВт, ветропарков – 200 МВт.

Для дальнейшего развития возобновляемой энергетики в Беларуси нужны высококвалифицированные специалисты, способные создавать и эффективно использовать потенциал ВИЭ. На первом этапе подготовку таких специалистов можно проводить в курсах повышения квалификации, на втором – путем открытия специальности по возобновляемой энергетике для получения второго высшего образования. Подготовку техников-электриков по эксплуатации энергоустановок на базе ВИЭ целесообразно организовать на базе колледжей.

В настоящее время в БГАТУ функционирует аспирантура и создан новый Совет К 05.31.01 по защите диссертаций и подготовке работников высшей квалификации по специальности 05.14.08 – энергоустановки на основе ВИЭ (технические науки).

Комплексный подход в энергообеспечении АПК будет способствовать дальнейшему развитию АПК и внесет существенный вклад в повышение энергетической и экологической безопасности страны.

**Герасимович Л.С., д.т.н., профессор, академик
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь**

«ВТОРОЕ ДЫХАНИЕ» ЭЛЕКТРОНАГРЕВА В АГРОЭНЕРГЕТИКЕ

Ключевые слова: топливно-энергетические ресурсы, атомная электростанция, электротеплоснабжение, комплексная энергосистема, интеллектуальное управление научная школа.

Аннотация: приведен анализ состояния и перспективы развития электротеплоснабжения аграрного производства и быта агрогородков в связи интеграцией атомной электростанции в электроэнергетическую систему Республики Беларусь

В результате системной работы по энергосбережению экономика страны во всех отраслях народного хозяйства развивается практически без увеличения потребления топливно-энергетических ресурсов (ТЭР). Валовое потребление ТЭР в республике в последние годы практически не изменилось по отношению к уровню 2010 го-

да. При этом наибольшая экономия ТЭР получена за счет внедрения новых современных энергоэффективных технологий, процессов, оборудования и материалов в производстве, повышения эффективности действующих и строительства новых высокоэффективных энергоисточников, оптимизации схем теплоснабжения.

В сельском хозяйстве обеспечена:

- реализация комплексного подхода к энергоснабжению агрогородков за счет использования местных топливно-энергетических ресурсов, в том числе возобновляемых источников энергии;
- использование гелиоустановок для интенсификации процессов сушки и подогрева воды в сельскохозяйственном производстве;
- строительство биогазовых комплексов в сельскохозяйственных организациях, занимающихся производством КРС, свиней и птицы;
- модернизация животноводческих комплексов с переходом на новые энергоэффективные технологии;

На 2016 – 2020 годы поставлена задача достигнуть экономии ТЭР на уровне 1 млн. тонн условного топлива ежегодно.

Вместе с переводом аграрного производства на промышленную основу существенно возрастают потребности в их энергоснабжении.

Учитывая особенности агропромышленного производства, агрогородков и агропоселений, связанные с их территориальной рассредоточенностью и сравнительно невысокой плотностью энергонагрузок, значительной протяженностью электросетей, необходимостью повышения энергоэффективности, энергобезопасности (надежности) и экологичности комплексных энергосистем, а также вводом к 2020 году Беларускай АЭС с определенным запасом мощности в государственной электроэнергетической системе, а также с наличием значительного количества местных энергоресурсов, включая возобновляемые, появляется реальная возможность и необходимость перевода части тепловых процессов на электронагрев, эффективность которых убедительно зарекомендовала себя на практике.

В отличие от тепловой электроэнергия является энергией самого высокого уровня которая обладает бесконечной возможностью конверсии (преобразования) в любые другие виды энергии с высокой технологичностью, прецизионностью и эффективностью использования как на производстве, так и в быту. Однако проблема сокращения расхода электроэнергии на тепловые нужды в аг-

рарной энергетике в последние десятилетия связана с высокой стоимостью тарифов в Беларуси, которые можно и нужно сократить в связи с вводом АЭС, а также строительством автономных энергоцентров распределенной генерации, использующих отходы производства и местные ресурсы, включая ВИЭ, в коогенерационных энергоустановках

В прежние десятилетия активно развивались научные исследования принципов создания и эффективного использования средств и систем электронагрева, а также созданы научные школы, в том числе в научных центрах БИМСХ, ВИЭСХ, ЧИМЭСХ бывшего СССР, которые не утратили своей значимости и в настоящее время.

Учитывая накопленный опыт требуется переосмысление и адаптация научно- практических результатов использования электронагрева в аграрной энергетике. Исходя из требований энергоэффективности агропромышленного производства, можно выделить и реанимировать следующие направления развития интеллектуально автоматизированного электротеплоснабжения:

- локальные электротепловые установки для молодняка в животноводческих и птицеводческих помещениях;
- децентрализованные системы электротеплоснабжения на фермах и комплексах КРС и по содержанию и откорму свиней;
- системы электроотопления и поддержания (а также в качестве электропроводчиков) микроклимата в производственных помещениях для содержания животных и птицы, в инкубаторах и в хранилищах сельскохозяйственной продукции, в тепличных комбинатах;
- электротепловые установки в цехах подсобных производств по переработке и хранения готовой продукции и т. д.

Требуется переосмысления и адаптация основных научных достижений междисциплинарных знаний физики, химии, математики, термодинамики и биологии автоматического, в том числе интеллектуального управления в области электротехнологий. При этом необходимо обратить особое внимание на использовании принципов динамических самоуправляемых сложных биотехнических систем; разработать кластеры и типоразмеры отечественного электротеплового оборудования, а также автономных энергосистем с совместным использованием централизованного электроснабжения местных ресурсов и ВИЭ для электротеплоснабжения аграрного производства и агрогородков.

Новые научные задачи требуют создания адекватных научных школ, привлечения творческих научных сил для формирования современно интеллектуального потенциала с ориентацией на новую научно-методическую, материально-техническую и компьютерную базу.

ЛИТЕРАТУРА

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

Забелло Е.П., д.т.н., профессор

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

РИСК – ОРИЕНТИРОВАННОЕ МЫШЛЕНИЕ В ЭНЕРГЕТИКЕ НА ПРИМЕРЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ВЫБОРА ЛОКАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Ключевые слова: Источники распределенной генерации, риск – менеджмент, кооперативная игра, технико-экономический анализ, природная и стратегическая неопределенность.

Аннотация. Рассмотрена роль, функции и результаты режимного взаимодействия энергосистемы (ЭС) с источниками распределенной генерации (ИРГ). Основными результатами взаимодействия является повышение надежности электроснабжения, уплотнение суммарных графиков нагрузок и улучшение технико – экономических показателей совместного функционирования ЭС и ИРГ.

Энергетика – не просто затратноёмкая отрасль, но и отрасль, где риски от принимаемых решений чрезвычайно велики. По этой причине сегодня действуют различные международные стандарты в области риск – менеджмента, однако, в нашей республике они пока рассматриваются как ориентир и на практике учитываются ненадлежащим образом. Сегодня энергетика обоснованно встала на путь развития распределенной генерации, соответствующей всем требованиям энергообеспечения – экономичности, экологичности, безопасности, доступности, надежности и взаимозаменяемости, чем и предприняла дальнейшую судьбу гигантов централизованной гене-

рации из-за опасности катастроф, истощаемости невозобновляемых энергоресурсов и проблем обеспечения устойчивости работы энергосистем переменного тока и напряжения. Переход к распределенной генерации с использованием возобновляемых источников энергии (ВИЭ) позволил получить экономически оправданные решения по солнечной энергетике, ветроэнергетике, биогазовым энерготехнологиям, аккумулированию энергии. Процесс подобного перехода продолжается, обеспечивая одновременно и переход рисков из состояния природной неопределенности к стратегической, где решения существенно упрощаются, хотя и требуют постоянного совершенствования методов разрешения игровых ситуаций, разнообразие которых обусловлено ростом числа игроков с различными интересами. Подобный рост обусловлен развитием рыночных отношений. В таких условиях почти все задачи, связанные с экономикой генерации, передачи, распределения и потребления энергии, требуют пересмотра, так как действующие ранее критерии, в основу которых был положен народно – хозяйственный подход, уже вступают в противоречие с подходами отдельных энергокомпаний и потребителей.

К 2020 г. долю производства энергии с помощью ВИЭ в республике планируется довести до 6% валового потребления энергоресурсов, что является крайне низкой величиной в сравнении с долей ВИЭ в большинстве стран мира [1]. В [2] нами было рассмотрено 7 вариантов развития схем электроснабжения потребителей без учета и с учетом источников распределенной генерации, в том числе и универсальный вариант, при котором обеспечивается надежное электроснабжение потребителя от трех источников. Подобный подход позволяет заодно решить и задачу обеспечения адресной надежности потребителей первой категории, для которых наличие собственных источников генерации гарантирует бесперебойное электроснабжение в любых условиях [3].

При росте числа вариантов использования ВИЭ обязательным условием является создание интеллектуальных сетей генерации и электроснабжения в целом с использованием сложных тарифных систем на отпуск электроэнергии, позволяющих обеспечивать эффективное функционирование комплексов распределенной генерации (КРГ), удовлетворяющих интересы участников корпоративной игры – как поставщиков, так и потребителей энергии даже в случаях, когда они при необходимости меняются местами на некото-

рое время. В [2] на конкретных примерах было показано, что при использовании дифференцированных по зонам суток тарифов режимное взаимодействие источников генерации и потребления энергии обеспечивает выгоду обеим сторонам, приводя к существенным значениям прибыли в расчете на единицу отпущенной и потребленной энергии.

Создание КРГ позволяет решить проблему покрытия переменной части графиков энергопотребления путем анализа графиков нагрузок и их формы, руководствуясь вполне понятным и обоснованным положением, что эти графики изменить (уплотнить) на точном интервале можно. Однако следует учитывать и то, что и разуплотнение графиков может тоже обеспечить положительный результат, если на пиковых интервалах нагрузок энергосистемы уменьшить объем электропотребления с помощью так называемых потребителей – регуляторов, способных существенно снижать нагрузки в любые часы суток (например, заполнение водонапорных башен в часы минимальных нагрузок, закачка в ночные часы воды в нефтеносный пласт для поддержания пластового давления и т.д.). Для подобных потребителей – регуляторов, разумеется необходима разработка специальных тарифов, стимулирующих перенос электрических нагрузок из пиковых в ночные зоны. В целом же, обобщая сказанное, можно констатировать, что использование потребителей – регуляторов и возможностей маневра режимами работы источников распределенной генерации позволит более успешно решать традиционно сложную для всех энергосистем задачу, а точнее – проблему покрытия переменной части графиков энергопотребления в любой отрасли, в том числе и в агропромышленном комплексе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Доля возобновляемых источников энергии в производстве электроэнергии (в том числе гидро) // Мировая энергетическая статистика. – Ежегодник. – 2016.
2. Забелло Е.П. Риск – ориентированное мышление в энергетике. / Е.П. Забелло, Е.Е. Забелло // Энергетика и ТЭК. – 2017. – №7/8.
3. Забелло Е.П. Адресная надежность электроснабжения. Возможности и варианты ее оценки и обеспечения. / Е.П. Забелло, М.Р. Кирплюк // Энергетическая стратегия. – 2017. – №4 (58).

**Исембергенов Н.Т. д.т.н., профессор,
Сагындикова А.Ж. доктор PhD, ст. преподаватель
Казахский национальный аграрный университет (Алматы)**

ИНТЕНСИВНЫЙ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЙ МЕТОД СУШКИ ЗЕРНА

Ключевые слова: сушка зерна, электромагнитная индукция, количество выделяемого тепла, формула Максвелла.

Keywords: grain drying, electromagnetic induction, the amount of generated heat, the Maxwell formula

Аннотация. Разработан способ сушки зерна и удаления влаги, который основан на получении и обработке возникающих тепловых процессов, описанных уравнением термодинамики. Предлагаемый индукционный способ сушки зерна, где зерновой материал проходит через сушильную шахту под действием силы тяжести. Для проведения экспериментальных исследований разработано транзисторно – тиристорное устройство, которое состоит из блока управления, преобразователя частоты, бункера в котором находится шнек геликоидной поверхностью, обмотки индуктора, влагомер. Алгоритм получения и обработки данных разработан в среде MATLAB.

Abstract. The method of drying of grain and removal of moisture which is based on receiving and processing of arising thermal processes described by the thermodynamics equation is developed. For carrying out pilot studies, it is developed the transistor–thyristor device, which consists of the control unit, the converter of frequency, the bunker with the screw in it that has helix surface, inductor windings, and a hydrometer. The algorithm of receiving and data processing is developed in the MATLAB software.

Введение

Основой теории сушки зерна являются закономерности переноса теплоты и влаги в зерновке при взаимодействии её нагретыми газами, с горячими поверхностями, а также в процессах облучения тепловыми и электромагнитными волнами при наличии фазовых превращений [1].

Процесс сушки зерна, как и любых влажных материалов, является не только теплофизическим, но и технологическим процессом, в характере протекания которого решающую роль играет форма связи влаги с материалом. Изучение процесса сушки зерна может быть ограничено рассмотрением явлений перемещения влаги внутри материала, парообразования и диффузии паров влаги с поверхности зерна в окружающий воздух. Данные процессы в основном раскрывают механизм процесса сушки.

Сушка, нагрев и охлаждение зерна – процессы, которые сопровождаются изменением температуры и влажности зерна, а также плотности потоков теплоты и влаги во времени. При сушке в зерне возникают градиенты температуры и влагосодержания, под действием которых происходит перенос теплоты и влаги внутри зерна, появляются термические и объемные напряжения.

В общем случае механизм удаления влаги из зерна при сушке схематически может быть представлен следующим образом (рисунок 1).

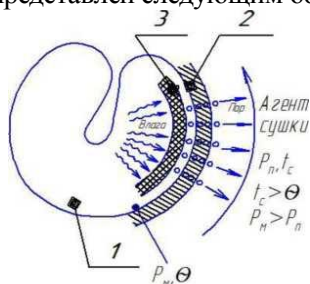


Рисунок 1. Схема механизма удаления влаги при сушке зерна: 1 – зерновка; 2 – пограничный слой; 3 – зона испарения

Вдоль поверхности влажной зерновки движется агент сушки с определенными параметрами. Теплота от агента сушки конвективным способом передается зерновке; ее поверхность нагревается, и часть влаги, находящейся у поверхности, испаряется. В результате по толщине зерновки создаются перепады влагосодержания, температуры и давления, под действием которых влага непрерывно подводится к поверхности, где и испаряется. Молекулы пара диффундируют через пограничный слой и поглощаются агентом сушки. Обязательное условие процесса удаления влаги с поверхности зерновки - это наличие разности между парциальным давлением у ее поверхности p_m и в агенте сушки p_n .

Влага испаряется не с поверхности зерновки, а из некоторой зоны 3, расположенной в периферийной части зерновки. Более того, положение этой зоны не остается неизменным: она постепенно перемещается (углубляется) внутрь зерновки. Начало углубления зоны испарения многие исследователи связывают с началом удаления из зерна связанной влаги. При углублении зоны испарения поверхность зерновки остается обезвоженной, лишенной защитного фактора и поэтому может нагреваться до высоких температур.

Интенсификация переноса теплоты и влаги способствует ускорению сушки, но возникающие при этом напряжения могут привести к ухудшению качества зерна – образованию трещин, раскалыванию, снижению выхода целой крупы и т. д. Поэтому важно установить оптимальный режим сушки [4].

Материалы и методы исследований

На основании данных положений был поставлен и проведен эксперимент по использованию изменения частоты для сушки зерна. Целью эксперимента было получение кривых сушки зерна при изменяющихся независимых факторах. В качестве независимых факторов приняты начальная влажность зерна ($W, \%$), диэлектрическая роницаемость зерна, частота генератора ($\omega, \text{Гц}$), коэффициент потерь.

В дальнейшем, несмотря на достаточно высокое начальное влагосодержание зерна, сушка протекает на всем протяжении процесса с убывающей скоростью испарения влаги, с непрерывно возрастающей температурой зерна, что находит отражение в характере полученных кривых сушки, в результате проведения эксперимента получена зависимость между коэффициентом потерь при различных частотах, обработанных с помощью программы Excel рисунок 2.

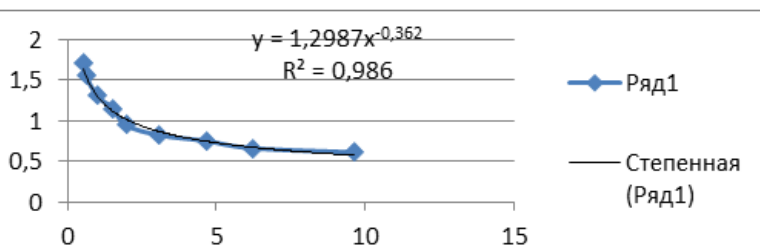


Рисунок 2. Зависимость между коэффициентом потерь при различных частотах

Анализируя полученную зависимость коэффициента потерь при воздействии на влажное зерно (12%), СВЧизлучателем при его различных частотах. В первую очередьследует отметить, что высокий коэффициент конкордации 0,986, что говорит о строгой функциональной зависимостимеждучастотой и энергией затрачиваемой на нагрев влаги в зерне. Исследуяполученную зависимостьмынаблюдаем, что в диапазоне от 0 до 120 МГц эта кривая носит монотонно убывающий характер, а затем асимптотируетнауровне 0,6.

Альтернативой существующим технологиям предлагается использование высокочастотного электромагнитного поля, которое не только не имеет выбросов в атмосферу, но воздействует непосредственно на внутреннюю часть нагреваемого тепла (зерна), нежели на поверхность как в традиционных способах, причем к.п.д. возрастет с увеличением влажности зерна. С этой целью нами предлагается СВЧ транзисторно – тиристорный генератор, который в отличие от магнетронного генератора, имеет более высокий к.п.д., т.к. не расходуется большая часть энергии на нагрев нити накала магнетрона (рисунок 3).

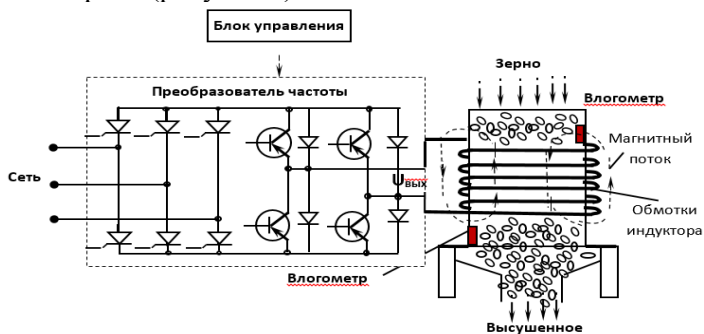


Рисунок 3. Схема СВЧ установки со шнеком геликоидальной поверхности

Зерно подается в цилиндрический контур из диэлектрика по геликоидальной винтовой поверхности, на которой угол подъема винта всегда соответствует текущему значению угла трения. Например, в первой фазе, поступившее влажное зерно как бы «залипает» к винтовой поверхности, затем по мере высыхания коэффициент трения уменьшается и зерно медленно перемещается на следующий уровень. Таким образом, в нижней части этого рабочего органа будет сходиться зерно, требуемой влажности.

Выпрямитель и инвертор представляет преобразователь частоты. Применение трансформатора в первичной цепи резко увеличивает, стоимость всего индукционного нагревателя приводит, к возрастанию массогабаритных размеров.

Известны преобразователи частоты [4,5], где для понижения напряжений применяют трансформаторы. Задача состоит в том, чтобы создать, такой преобразователь частоты, где не использовался бы понижающий трансформатор.

Для более полного анализа было выполнено моделирование в среде MatLabR12 v.6.0, этот пакет предназначен для решения математических вычислений любой сложности, для профессионального анализа и моделирования процессов в электрических и электронных цепях, статической обработки результатов измерений и экспериментов, а также построения графиков. При моделировании использовали библиотеку SimulinkLibraryBrowsers, а также SimPowerSystems [6].

На рисунке 4, показана схема моделирования однофазного транзисторно – тиристорного инвертора при чисто активной нагрузке.

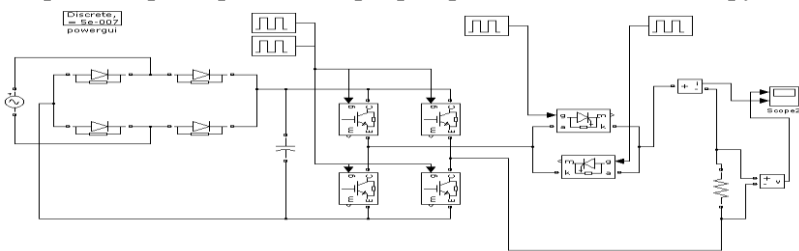


Рисунок 4. Схема моделирования транзисторно – тиристорного преобразователя частоты

Результаты моделирования показаны на рисунке 5 при чистой активной нагрузке. Как видно из рисунка при чистой активной нагрузке напряжение и ток в нагрузке имеет четкое выражение. Принцип работы транзисторно – тиристорного преобразователя частоты подтверждается.

На рисунке 6 показаны результаты моделирования при активно – индуктивной нагрузке. Как видно из рисунка напряжение и ток в нагрузке не имеет четкое выражение, и появляются выбросы напряжения, которые очень плохо будут влиять на работу транзисторно – тиристорного преобразователя частоты.

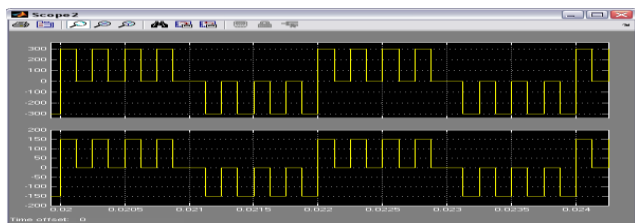


Рисунок 5. Результаты моделирования транзисторно – тиристорного преобразователя частоты при чистой активной нагрузке

Особенностью индукционного ввода энергии является возможность регулирования пространственного расположения зоны протекания вихревых токов. Во-первых, вихревые токи протекают в пределах площади, охватываемой индуктором. Нагревается только та часть тела, которая находится в магнитной связи с индуктором независимо от общих размеров тела. Во-вторых, глубина зоны циркуляции вихревых токов и, следовательно, зоны выделения энергии зависит, кроме других факторов, от частоты тока индуктора (увеличивается при низких частотах и уменьшается с повышением частоты). Для каждого процесса (поверхностная закалка, сквозной нагрев) существует оптимальный диапазон частот, обеспечивающий наилучшие технологические и экономические показатели. Для индукционного нагрева используют частоты от 50Гц до 5МГц.

1. Передача электрической энергии непосредственно в нагреваемое тело позволяет осуществить прямой нагрев проводниковых материалов. При этом повышается скорость нагрева по сравнению с установками косвенного действия, в которых изделие нагревается только с поверхности.

2. Передача электрической энергии непосредственно в нагреваемое тело не требует контактных устройств. Это удобно в условиях автоматизированного поточного производства, при использовании вакуумных и защитных средств.

3. Благодаря явлению поверхностного эффекта максимальная мощность, выделяется в поверхностном слое нагреваемого изделия. Поэтому индукционный нагрев при закалке обеспечивает быстрый нагрев поверхностного слоя изделия. Это позволяет получить высокую твердость поверхности детали при относительно вязкой середине. Процесс поверхностной индукционной закалки быстрее и экономичнее других методов поверхностного упрочнения изделия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Будников, Д.А. Интенсификация сушки зерна активным вентилированием с использованием электромагнитного поля СВЧ: Автореф. дис.канд.тех.наук : 05.20.02 / Д. А. Будников. – Зерноград: ФГОУ ВПО АЧГАА, 2007. – 16с.
2. Курушин, А. А., Пластиков, А.Н. Проектирование СВЧ устройств в среде CSTMicrowaveStudio / А. А. Курушин, А.Н. Пластиков, – М.:Издательство МЭИ, 2010. – 160 с.
3. Лыков, А.В. Теория переноса энергии и вещества / А.В. Лыков, Ю.А. Михайлов. – Минск: Изд-во Акад. Наук БССР, 1954. – 357с.
4. Лыков, А.В. Тепло- и массообмен в процессах сушки / А.В.

Гируцкий И.И. , д.т.н. А.Г. Сеньков, к.т.н.

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

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ КАК ФАКТОР ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

Ключевые слова: энергосбережение, управление, кормораздача.

Key words: energy saving, control, feed distribution.

Аннотация. В статье рассматривается вопрос снижения энергозатрат на раздачу жидких кормов в свиноматке благодаря безлюдной технологии круглосуточного кормления животных.

Abstract. The article is focused on the issue of energy saving for technological process of distribution liquid feeds in a pigsty.

Механизация производства связана с непрерывным увеличением единичной мощности оборудования. Это обусловлено необходимостью повышения производительности труда человека, осуществляющего управление средствами механизации. Увеличение единичной мощности оборудования сопровождается ростом его металло- и энергоемкости. Создание автоматизированного оборудования, обеспечивающего выполнения технологического процесса без участия оператора позволяет избежать этой негативной тенденции.

Раздача кормов животным является энерго- и трудоемким процессом, значительно влияющим на конкурентоспособность производимой продукции. Снижение количества потребляемой электрической энергии может быть достигнуто за счет использования современных автоматизированных методов управления технологическими процессами, позволяющими реализовать практически безлюдное, с возможностью удаленного контроля производства. Исключение необходимости присутствия оператора в процессе выполнения технологического процесса позволяет увеличить время работы оборудования и существенно уменьшить его производительность.

Жидкое кормление является полностью механизированным процессом и обеспечивает высокую эффективность откорма свиней [1, 2]. Представляет интерес энергетическая оценка эффективности реализации перехода к многоразовому, круглосуточному кормлению свиней.

Рассмотрим теоретические аспекты и практическую реализацию интеллектуальных автоматизированных методов управления, на примере технологического процесса раздачи жидких кормов на свиноводческих комплексах.

Основные функции управления процессом кормления свиней

1. Определение времени кормления.
2. Расчет доз кормления в соответствии с количеством и половозрастными характеристиками животных.
3. Приготовление необходимого объема корма.
4. Раздача корма по кормушкам в соответствии с запланированными дозами.
5. Контроль поедаемости корма.

При предыдущем уровне возможностей средств управления функции (1, 2 и 4) выполнялись персоналом [1,2]. Необходимость наличия персонала при определении доз кормления и контроля поедаемости корма обуславливала двухкратное кормление свиней за время рабочего дня. Соответственно, технологическое оборудование должно было обеспечить приготовление и раздачу суточной дозы корма за 2-4 часа.

Развитие вычислительных возможностей современных контроллеров и построение моделей роста свиней на откорме, позволяет реализовать функцию (1) в виде алгоритмического и программного обеспечения, без участия персонала (рис.).

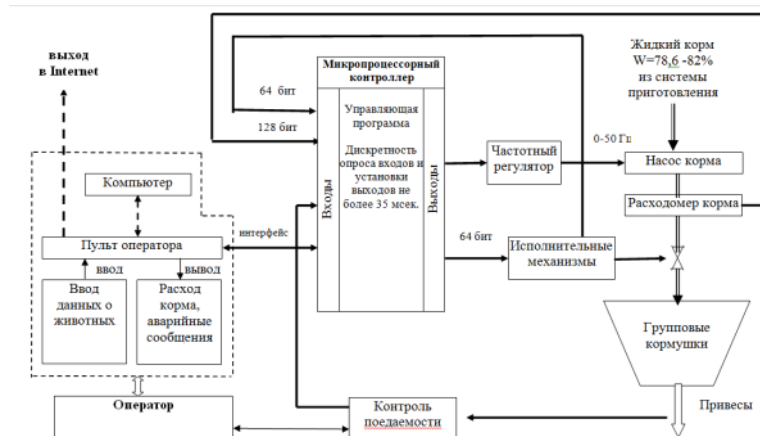


Рис. Функционально-информационная схема управления раздачи кормов

В докладе, на основе математического моделирования и экспериментальных данных показано, что переход к многоразовому круглосуточному кормлению свиней обеспечивает трех- и более кратное снижение энергозатрат на раздачу корма. При этом уменьшается мощность электроприводов и размеры технологического оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
2. Girutski, I.I.. Energy saving on distribution of liquid animals feeds at pigstu farms/ I.I. Girutski, A.G. Senkov, N.M. Matsvejchuk // Jornal of Agricultural Scinge and Technology A, USA, volume 5, number 7, July 2015.-pp.626-631.

СЕКЦИЯ 1 ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ АПК

Анищенко В.А., д.т.н., Писарук Т.В
Белорусский национальный технический университет, Минск

ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГРАММНО-ЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ ДОСТОВЕРНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Ключевые слова: энергосистема, измерительная информация, контроль достоверности.

Аннотация. Наибольшее применение в энергетике получил программно-логический контроль достоверности измерений по методам измерений, учитывающим технологический смысл контролируемых переменных.

Эксплуатационная надежность работы энергетических систем во многом зависит от достоверности измерительной информации, характеризующей состояние энергооборудования. Недостоверная и неполная информация приводит к ошибкам при оценке состояния энергооборудования и ошибкам при формировании управляющих команд в системах защиты и автоматики.

Известны синтаксические и семантические методы контроля достоверности информации [1]. При синтаксическом подходе диагностируется материальная часть систем контроля и управления с помощью цифровых вычислительных кодов [2]. Однако при этом не учитывается технологическая сущность собираемой и обрабатываемой информации, что не позволяет выявить все возможные недостоверные измерения.

Семантические методы основаны на использовании смыслового значения измеряемых данных, их логичности, технологической непротиворечивости и согласованности, а также априорной информации о вероятностных характеристиках данных. Эти методы дополняют синтаксические методы контроля и повышают эксплуатационную надежность энергетических систем.

Условие достоверности измерения $x(t)$ имеет вид

$$a(t) \leq x(t) \leq b(t), \quad (2)$$

где $a(t)$ и $b(t)$ – соответственно нижняя и верхняя границы достоверных значений переменной, определяемые путем статистической обработки результатов измерений в процессе нормальной эксплуатации электрооборудования.

Разрешающая способность метода можно повысить путем оптимального сужения диапазона достоверных значений $b(t)-a(t)$ по критерию минимума средней цены распознавания грубых погрешностей измерений

$$C = (1 - q)C_1F_1 + qC_2F_2 = \min, \quad (3)$$

где q – априорная вероятность грубой погрешности измерения,

C_1 и C_2 – цены ошибок 1-ого рода (ложной тревоги) и 2-ого рода (пропуска недостоверного измерения) соответственно;

F_1 и F_2 – соответственно вероятности ошибок 1-ого и 2-ого рода.

При неточной и неполной информации о величинах q, C_1, C_2, F_1, F_2 оптимальные границы принятия решения определяются по критерию минимакса

$$C = (1 - q)C_1F_1 + qC_2F_2 = \min \max, q = \text{var}, \frac{C_1}{C_2} = \text{var}. \quad (4)$$

Условие достоверности дублированных измерений имеет вид

$$|x_1(t) - x_2(t)| \leq d, \quad (5)$$

где d – допустимый небаланс, назначаемый в зависимости от точности измерительных приборов.

При небольших скоростях изменений переменной эффективен контроль по первым приращениям. Условие достоверности в этом случае будет

$$|x(t) - x(t - h)| \leq g, \quad (6)$$

где h – интервал временной дискретизации процесса измерений,

g – граница принятия решения.

Разрешающая способность контроля по первым приращениям повышается, если использовать экстраполирующий фильтр. Тогда условие достоверности (6) примет вид

$$|x(t) - x_3(t)| \leq g, \quad (7)$$

где $x_3(t)$ – экстраполированное в предыдущий момент времени $t - h$ на текущий момент t значение переменной

$$x_3(t) = x(t - h) + k[x(t - h) - x(t - 2h)]. \quad (8)$$

Коэффициент k определяется из условия минимума дисперсии погрешности экстраполяции в результате предварительного анализа контролируемого процесса. Дальнейшее повышение разрешающей способности достигается переходом от линейной экстраполяции с постоянным значением коэффициента k нелинейной экстраполяции с переменным коэффициентом

$$k = \begin{cases} k_{\text{опт}}, & \text{если } \frac{x(t) - x(t-h)}{x(t-h) - x(t-2h)} > 0, \\ k, & \text{если } \frac{x(t) - x(t-h)}{x(t-h) - x(t-2h)} \leq 0. \end{cases} \quad (9)$$

Взаимные связи между переменными являются дополнительным источником информации. Условия достоверности переменных в этом случае будут

$$|\delta_1(t)| \leq \delta_{1g}, |\delta_2(t)| \leq \delta_{2g}, \dots, |\delta_n(t)| \leq \delta_{ng}, \quad (10)$$

где $\delta_1(t), \delta_2(t), \dots, \delta_n(t)$ – фактические, а $\delta_{1g}, \delta_{2g}, \dots, \delta_{ng}$ – допустимые невязки n уравнений связи.

Вероятностная природа погрешностей измерений не позволяет уверенно обнаруживать все грубые погрешности. Понизить неизбежность ошибок позволяет многопризнаковый контроль, основанный на базе совместной обработки результатов контроля рассмотренными выше однопризнаковыми методами.

Семантические программно-логические методы контроля достоверности измерений применяются в том или ином объеме в АСУТП электрических станций и АСДУ энергетических систем. Их внедрение в АСКУЭ на электрических подстанциях и промышленных предприятиях позволит более точно осуществлять контроль и учет потребляемой электрической и тепловой энергии и повысит энергоэффективность работы энергооборудования предприятий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Левин, Г.Я О соотношении синтаксического и семантического подходов к задаче поиска допустимых значений параметров / Г.Я. Левин // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Проблемы повышения эффективности производства. Л.: 1977 Вып. 225. С. 53-56.
2. Глазунов, Л.П. Основы теории надежности автоматических систем управления / Л.П. Глазунов, В.П. Грабовецкий, О.В. Щербаков. Л.: Энергоатомиздат, 1984. 208 с.

Елифанов В.И., Сыч А.Д., Паулич Н.В.
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь

ВОПРОСЫ МОНИТОРИНГА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИСТОЧНИКОВ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Ключевые слова: ветроэнергетическая установка, солнечная электростанция, АСКУЭ.

В работе рассматриваются вопросы, касающиеся необходимости проведения контроля энергетических характеристик солнечных электростанций и ветроэнергетических установок, а также показана возможность проведения мониторинга средствами АСКУЭ.

The work deals with the issues related to the need to monitor the energy characteristics of solar power plants and wind power plants, as well as the possibility of monitoring by means of AMR.

Одним из основных элементов распределенной генерации электрической энергии в настоящее время являются солнечные и ветряные электростанции, опыт применения которых в некоторых странах уже довольно значительный. Еще в 1994 году в мире эксплуатировалось 20 тысяч ветроэнергетических установок (ВЭС) общей мощностью 3 млн. кВт, 9 солнечных электростанций (СЭС) общей мощностью 0,354 млн. кВт со стоимостью выработки электроэнергии 6 центов на киловатт установленной мощности. В 2015 году на возобновляемую энергетику в мире были инвестированы рекордные суммы, в частности в солнечной и ветроэнергетике были введены в действие максимальные мощности – соответственно 50 и 63 млн. кВт [1]. При подобных темпах развития нетрадиционной энергетики актуальным стал и вопрос диагностирования работы ВЭС и СЭС с целью получения ряда характеристик путем их постоянного мониторинга (токи, напряжения, качество энергии) или выполнения расчетных операций по прогнозированию сроков службы элементов, частоты отказов, вероятности безотказной работы.

Поскольку в нашей Республике объемы внедрения ВЭС и СЭС пока незначительны, целесообразно уже на первых этапах этого

внедрения учесть специфику подобных установок, проводя постоянный мониторинг присущих только им показателей, и специфику условий, в которых эти установки работают.

В [2], говоря о прогнозировании предельного срока службы солнечных батарей (СБ) по данным их мониторинга, авторы отмечают, что «основная задача заключается в контроле выработки электроэнергии генерирующими объектами с целью замены образцов, функционирующих несоответствующим образом» Так как нижним элементом в иерархии генерирующих объектов является солнечный элемент в солнечной батарее мощностью от единиц до ста и более Ватт, то выход элемента из строя может привести к отказу всей батареи. Поскольку напряжение на выходе одной СБ невелико, несколько СБ соединяют последовательно с выходом на электронный блок по кабелю постоянного тока. В блоке имеется преобразователь постоянного напряжения в переменное, электронный блок контроллер, фиксирующий генерируемую мощность, ток и напряжение, температуру, интенсивность солнечного излучения, время. Таким образом, информационное обеспечение, необходимое для диагностирования состояния блока достаточно полное, однако следует учесть, что для оценки и прогнозирования технико-экономических показателей работы СЭС необходима и другая информация, в том числе и коммерческого характера для составления баланса электроэнергии, с учетом метрологических характеристик средств измерения, объемов генерации в зависимости от времени суток, освещенности. Так как предельный срок службы солнечных батарей в силу незначительности срока их эксплуатации можно пока только приблизительно спрогнозировать, то на информационное обеспечение для этого прогнозирования должно быть обращено особое внимание на первом этапе эксплуатации модулей СЭС в условиях республики. В такой ситуации необходима разработка алгоритмов решения дополнительных задач в системе автоматизированного энергоучета (АСКУЭ), например, задачи упорядочения информации об объемах генерации по каждому каналу учета с той целью, чтобы имея подобные данные обоснованно судить об эффективности работы отдельных модулей. Создавая таким образом необходимую базу данных и по ряду других показателей, можно более обоснованно прогнозировать как предельный срок службы солнечных батарей, так и другие сопутствующие ему показатели.

Опыт работы первых достаточно крупных по мощности ветряных электроустановок в Беларуси показал, что по одному из основ-

ных показателей – объем генерации электроэнергии в расчете на единицу мощности ветрогенератора не уступает по величине аналогичному показателю в других европейских странах. Однако наряду с крупными по мощности ВЭС (1500 кВт) устанавливается большое число мелких, причем не принадлежащих энергосистеме, в связи с чем и в данном случае вопросы информационного обеспечения с применением АСКУЭ играют важную роль, так как здесь рассматривается и режимное взаимодействие мелких ЭС с энергосистемой, при котором имеют место как перетоки энергии в энергосистеме, так и изолированный режим работы этих ЭС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Курс – на использование возобновляемых источников энергии. Миненков А., Котик А. «Энергоэффективность», 2016–№7;
2. Прогнозирование предельного срока службы солнечных батарей по данным их мониторинга. Воронков Э. Н., Москвичев В. Ю. «Промышленная энергетика», – 2015. – №11.

Забелло Е.П., д.т.н., профессор, Базулина Т.Г.
УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА НАДЕЖНОСТЬ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Ключевые слова: асинхронный электродвигатель, надежность, показатели качества электрической энергии, срок службы асинхронного электродвигателя.

Аннотация: Снижение срока службы трехфазных асинхронных электродвигателей связано с отклонением показателей качества электрической энергии от нормированных. Разработка комплексных систем автоматизации для учета и контроля показателей качества электрической энергии на данный момент ведется в незначительном объеме. Объединение возможностей современных приборов микропроцессорных защит и автоматизированных систем энергоучета позволит значительно повысить надежность работы электропривода.

Надежность электроснабжения и качество электрической энергии КЭ являются основными показателями, по которым оцениваются энергопотребляющие технологические процессы, в том числе и электропривод. В действующем стандарте на надежность указывается, что надежность техники “является сложным свойством, которое в зависимости от назначения объекта и условия его применения состоит из сочетания свойств безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости”. На первые два свойства КЭ оказывает наибольшее влияние, поэтому в различных исследованиях именно они и рассматриваются. Экономический ущерб от пониженного КЭ для всех групп потребляемой электроэнергии изначально делится на две составляющие: технологическую и электромагнитную. Технологическая составляющая обусловлена влиянием на производительность технологических установок и себестоимость выпускаемой продукции, электромагнитная определяется сокращением срока службы изоляции электрооборудования из-за ускоренного теплового и электрического старения.

Снижение срока службы асинхронных двигателей (АД) при несинусоидальности, несимметрии и отклонениях напряжения связано именно с тепловым старением изоляции из-за увеличения температуры обмотки статора [1]. Увеличение температуры происходит даже при незначительной несимметрии напряжения, вызывающей несимметрию токов, что приводит к перегреву изоляции за счёт дополнительных потерь активной мощности в обмотках статора, ротора, и стали АД.

Срок службы АД при пониженном КЭ в [1] определяется по эмпирическим выражениям в зависимости от изменения температуры статора. В соответствии с этими выражениями увеличение температуры на определенную величину $\Delta\varphi$, значение которой зависит от класса нагревостойкости, приводит к сокращению срока службы изоляции вдвое:

$$T = T_{\text{ном}} e^{-\beta \Delta\varphi},$$

где T – срок службы изоляции при номинальной температуре $\varphi_{\text{ном}}$,

$\Delta\varphi = \varphi - \varphi_{\text{ном}}$ – дополнительный нагрев обмотки статора,

$\beta = 0,693 / \Delta\varphi$ – коэффициент старения изоляции.

Так как в последнее время в применении находятся анализаторы качества энергии как отдельные устройства и подобные анализаторы, встроенные в multifunctional электронные счётчики, то появилась возможность проведения оценки ПКЭ в реальном

времени с последующей интеграцией этих показателей и оценкой их влияния на срок службы АД в ЛВС (локальной вычислительной сети) предприятия. По подобному пути пошли и разработчики микропроцессорных защит, в состав которых приведен в [2]. При анализе функций защит электродвигателей, приведенных в [2], авторы [3] замечают, что почти все микропроцессорные защиты обладают функцией контроля минимальной нагрузки и измерения тока в каждой из фаз. Аналогичные функции сегодня выполняют и микропроцессорные электронные счетчики, устанавливаемые для коммерческого и технического учета в составе автоматизированных систем энергоучета (АСКУЭ), что позволяет использовать возможность объединения двух компонентов: релейной защиты и АСКУЭ по ряду показателей, например таких, как перегрузка, неполнофазный режим, несимметрия токов и напряжений.

Так как в договорах на электроснабжение какие-либо численные показатели качества электрической энергии и надежности не приводятся, разработка комплексных систем автоматизации производственных процессов, в том числе и с применением регулируемого электропривода, осуществляется в незначительных объемах и в основном экспериментально, в результате чего появляются новые проблемы в этой области в связи с появлением источников распределенной генерации (РГ). Так как источники распределенной генерации имеют в основном незначительные по величине генерирующие мощности, изначально ясно, что поддержание на питающих шинах требуемых значений ПКЭ проблематично в случае источников РГ на некоторых отрезках времени изолированно. В таком случае создание «умных» сетей с обеспечением взаиморезервирования как со стороны источников энергосистемы, так и со стороны источников РГ рационально и реально.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жежеленко И.В. Влияние качества электроэнергии на сокращение срока службы и снижение надежности электрооборудования / И.В. Жежеленко, Ю.Л. Саенко, А.В.Горпинич. // Электрика. – 2008. – №3, 4.
2. Гурин В.В. Автоматическая защита электрооборудования. Защита асинхронных трехфазных электродвигателей: учебно-методическое пособие для вузов. – ч.2 – Минск. – БГАТУ. – 2011. – 452с.
3. Забелло Е.П. Влияние качества электроэнергии на надежность работы электрооборудования / Е.П. Забелло, В.Г. Буллах // Энергетика и ТЭК. – 2014. – №5.

Забелло Е.П., д.т.н., профессор,
Равинский Н.А., ст. преподаватель
УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь

ВОЗМОЖНОСТИ УПЛОТНЕНИЯ СУТОЧНЫХ ГРАФИКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК НА ПРЕДПРИЯТИЯХ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Ключевые слова: электроэнергия, автоматизированный энергосчет, график нагрузок, плотность нагрузки, неравномерность нагрузки, потребитель-регулятор.

Аннотация. Проанализированы формы суточных графиков нагрузок группы предприятий. Представлена динамика коэффициентов, характеризующих плотность и неравномерность нагрузки в Белорусской энергосистеме. Показан положительный эффект АСКУЭ с применением двухставочного тарифа.

В статье [1], в которой были рассмотрены причины, сдерживающие широкое внедрение автоматизированных систем контроля, учета и управления генерацией, передачей, распределением и потреблением энергии (АСКУЭ), изложены результаты анализа суточных графиков нагрузки в энергосистеме республики за 2004..2006 годы на основании использования показателей β_{cp} и α_n , определяемых выражениями:

$$\beta_{cp} = \frac{P_{cp}}{P_{max}}, \quad \alpha_n = \frac{P_{min}}{P_{max}} \quad (1)$$

где P_{cp} , P_{max} , P_{min} – соответственно среднее, максимальное и минимальное значение нагрузки на соответствующем интервале суток;

β_{cp} и α_n – соответственно коэффициенты, характеризующие плотность графика нагрузок и неравномерность нагрузки.

Аналогичные показатели, рассчитанные по итогам 2015 года (см. [2]), свидетельствуют о том, что как значение β_{cp} , так и значение α_n за последние 10 лет оставались стабильными (см. рисунок 1), хотя некоторая часть потребителей снизила нагрузки в пиковых зонах графика, другая их часть, наоборот, повысила, в результате чего форма суточного графика нагрузок (ФГН) энергосистемы практически не изменилась. В таблице 1 приведены данные по группе потребителей (гормолзаводы, мясокомбинаты, комбинаты

хлебопродуктов), свидетельствующие о том, что в результате проведения ряда режимных мероприятий некоторые из предприятий существенно повысили значение $\beta_{\text{ср}}$, приблизив его к единице, т.е. график нагрузок (ГН) предприятия стал практически ровным. Наоборот, часть предприятий увеличила неравномерность нагрузки, снизив значение α_n до величины 0,17..0,31. Полученный результат неоднозначен, так как подобные значения α_n имеют и потребители-регуляторы, снижающие пиковые нагрузки и наоборот, повышающие нагрузки в ночные и полупиковые часы. По данным приведенной таблицы можно судить, что таким потребителем-регулятором является комбинат хлебопродуктов №1, хотя и имеющий низкое значение α_n ($\alpha_n = 0,17$), однако на данном комбинате средняя нагрузка на часовых интервалах ночной зоны в $5,22 : 0,92 = 5,67$ раза выше, чем в часы пиковых нагрузок. Причина такой ситуации объясняется просто: на комбинате внедрена АСКУЭ, реализующая не просто автоматизированный учет потребления энергии, но и использование двухставочного тарифа, стимулирующего снижение нагрузки на пиковых интервалах.

Таблица 1 Распределение нагрузок по часам суток различных зон группой предприятий

№	Предприятие	Распределение по зонам, %			$\beta_{\text{ср}}$	α_n
		н	п	пп		
1	Условное с ровным ГН	4,17	4,17	4,17	1	1
2	Комбинат хлебопродуктов №1	5,22	0,92	5,26	0,79	0,17
3	Комбинат хлебопродуктов №2	4,7	1,62	5,2	0,8	0,31
4	Комбинат хлебопродуктов №3	3,94	4,27	4,25	0,98	0,92
5	Гормолзавод №1	3,37	1,74	6,00	0,69	0,29
6	Гормолзавод №2	2,56	4,98	4,75	0,84	0,51
7	Мясокомбинат №1	3,36	2,31	5,7	0,73	0,4
8	Мясокомбинат №2	3,04	4,65	4,62	0,9	0,65

Приемлемым для энергосистемы является и другой ГН – ГН комбината хлебопродуктов №3, так как на данном комбинате значения $\beta_{\text{ср}}$ и α_n близки по величине и почти равны 1, т.е. ГН предприятия практически ровный.

Если сравнивать между собой ФГН двух гормолзаводов, то по данным таблицы видно, что они существенно отличаются как по степени неравномерности нагрузки ($\alpha_{n1} = 0,29$, $\alpha_{n2} = 0,51$), так и

средними нагрузками в ночных зонах ($\bar{P}_{n1} = 3,37\%$, $\bar{P}_{n2} = 2,56\%$) и пиковых зонах ($\bar{P}_{n1} = 1,74\%$, $\bar{P}_{n2} = 4,48\%$). Из приведенных данных следует, что у первого гормолзавода ФГН «лучше», чем ровный ФГН, т.к. $\bar{P}_{сут} = 4,17\% > \bar{P}_{n1} = 1,74\%$, а второй завод имеет значение $\bar{P}_{n2} = 4,48\%$, т.е. более высокое, чем значение $\bar{P}$ для ровного графика нагрузок.

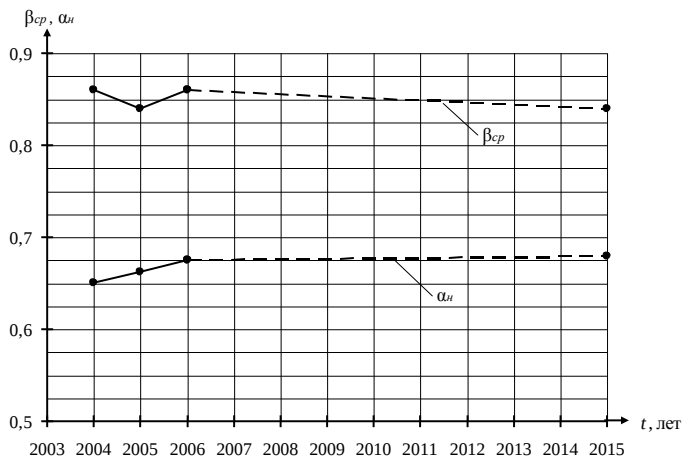


Рисунок 1 - Динамика коэффициентов, характеризующих плотность ($\beta_{сп}$) и неравномерность нагрузки (α_n) в Белорусской энергосистеме по годам в зимнее время

Из проведенного анализа фактических данных по ФГН ряда предприятий АГП следует, что при внедрении в отрасли полномасштабных АСКУЭ с одновременной модернизации тарифной системы можно получить существенное снижение платы за электропотребление на данных предприятиях, обеспечив одновременно и снижение величины генерирующей мощности, цена единицы которой составляет на сегодняшний день величину до 4000 дол/кВт.

ЛИТЕРАТУРА

1. Забелло Е.П. АСКУЭ: что сдерживает ее внедрение? // Энергетика и ТЭК. – 2007. – №2.
2. Забелло Е.П. Проблемы стимулирования процессов управления электрическими нагрузками на суточных интервалах / Е.П. Забелло, А.А. Ажгиревич, Е.М. Прищепова // Энергетика и ТЭК. – 2015. – №6.

**Збродыга В.М, к.т.н., доцент,
Зеленькевич А.И., ст. преподаватель,
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь**

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПАРКА СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ 10/0,4 кВ В ГЛУБОКСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Ключевые слова: силовой трансформатор, срок службы, группа соединений обмоток, сопротивление короткого замыкания.

Аннотация. В статье рассмотрено состояние парка силовых трансформаторов 10/0,4 кВ в Глубокских электрических сетях, обозначены некоторые проблемы при их замене.

В электрических сетях Республики Беларусь ведется работа по замене трансформаторов 10/0,4 кВ, выработавших свой ресурс, на новые более современные. Рассмотрим на примере Глубокских электрических сетей (Глубокских ЭС) существующее состояние парка трансформаторов напряжением 10/0,4 кВ.

На рисунке 1 приведены данные по количеству трансформаторов различной мощности установленных в Глубокских ЭС.

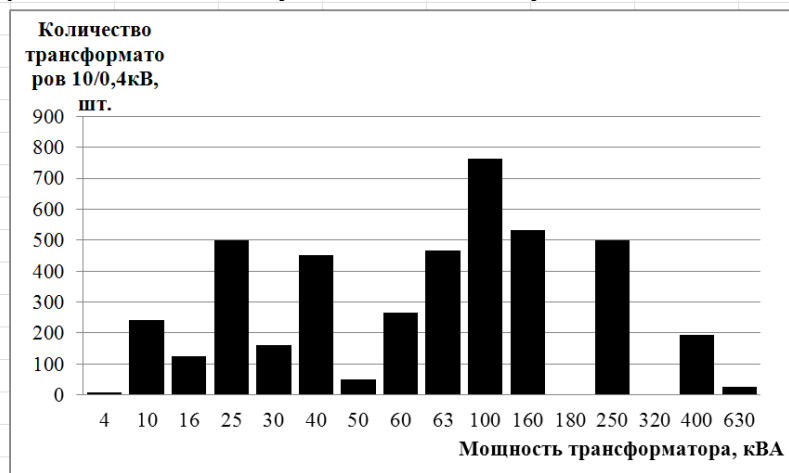


Рисунок 1. Количество трансформаторов различной мощности установленных в Глубокских ЭС

Как видно, в сетях преобладают трансформаторы мощностью 100, 160, 250 и 25 кВ·А.

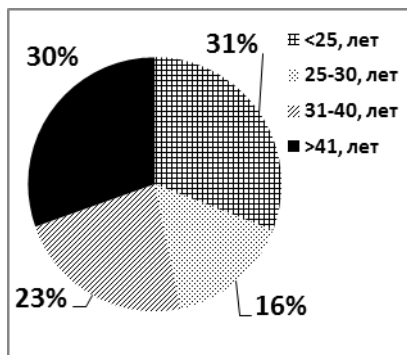


Рисунок 2. Диаграмма распределения трансформаторов 10/0,4 кВ с различными сроками службы

В Глубокских электрических сетях проводится работа по обновлению трансформаторов (рисунок 2).

Количество трансформаторов со сроком службы не превышающим нормативный (30 лет) составляет 46%. В тоже время 30% (1308 шт.) трансформаторов имеют срок службы более 41 года и требуют замены.

На рисунке 3 представлено распределение трансформаторов различной мощности по срокам службы.

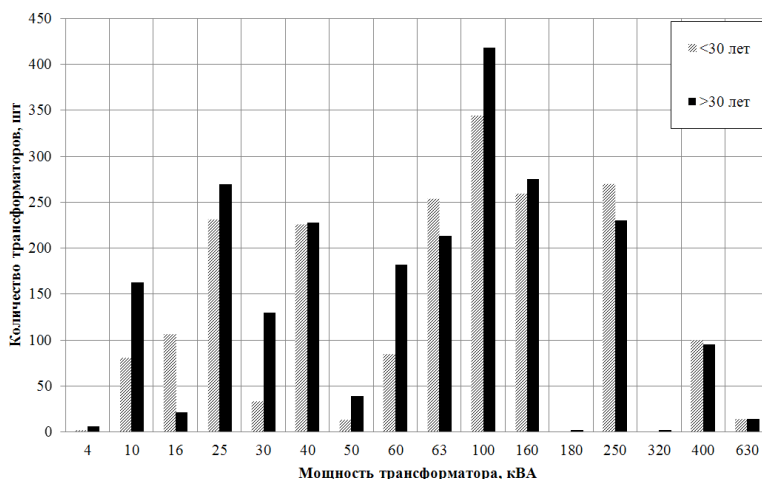


Рисунок 3. Распределение трансформаторов различной мощности по срокам службы в Глубокских ЭС

Из рисунка 4 видно, что преобладает замена трансформаторов с установленной мощностью 250, 160, 400 и 100 кВ·А.

При замене используются, в основном, трансформаторы производства Минского электротехнического завода имени В.И. Козлова серий ТМГ12, ТМГ21 и ТМГСУ со схемой соединения обмоток «звезда-звезда с нулем».

Как указывается в [1], в ряде случаев применение трансформаторов с такой схемой соединения обмоток не оправдано, а иногда недопустимо.

Одним из отличий технических характеристик трансформаторов с разными схемами соединения обмоток является разная реакция на протекающие несимметричные токи, содержащие составляющую нулевой последовательности (токи однофазного короткого замыкания, несимметричные по фазам токи нагрузки и др.).

У трансформаторов со схемой соединения обмоток «звезда-звезда с нулем» величина сопротивлений нулевой последовательности значительно больше, чем прямой последовательности.

При этих условиях ток однофазного короткого замыкания на выводах 0,4 кВ трансформатора оказывается значительно меньше тока трехфазного короткого замыкания.

На ТП с трансформаторами со схемой соединения обмоток «звезда-звезда с нулем» защищаемыми предохранителями типа ПКТ со стороны высокого напряжения при однофазном КЗ защита оказывается нечувствительной. При протекании тока КЗ ниже минимально отключаемого, предохранитель не защищает оборудование, разрушается и может вызвать аварию.

Одним из путей недопущения таких ситуаций, является применение разработанного авторами трансформатора со схемой соединения обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом» с четной группой соединений [2], что позволяет его использовать в сетях с уже установленными трансформаторами «звезда-звезда с нулем». Магнитные потоки, создаваемые полуобмотками разных фаз в каждом стержне сердечника трансформатора направлены встречно и компенсируют друг друга. Магнитные потоки нулевой последовательности такого трансформатора минимальны, а сопротивления нулевой последовательности меньше, чем при схеме соединения обмоток «звезда-звезда с нулем», что обеспечивает большую величину тока однофазного короткого замыкания и позволяет выполнять более надежную защиту от КЗ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Силовые трансформаторы 6(10)/0,4 кВ. Особенности применения различных схем соединения обмоток. [Электронный ресурс] / Федоровская А.И., Фишман В.С. – Режим доступа: <http://www.news.elteh.ru/arh/2009/60/07.php>. – Дата доступа: 04.10.2017.

2. Патент №16008 Трехфазный симметрирующий трансформатор с четной группой соединения обмоток: / А.И. Зеленкевич, В.М. Збродыга; заявитель Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет» - № а 20100121; заявл. 2010.02.01; опубл. 30.06.2012 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2012. – № 3. – С. 180-181.

**Збродыга В.М., к.т.н., доцент,
Зеленкевич А.И., ст. преподаватель
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь**

О РАСПРЕДЕЛЕНИИ МДС И МАГНИТНЫХ ПОТОКОВ В ТРАНСФОРМАТОРЕ «ЗВЕЗДА-ДВОЙНОЙ ЗИГЗАГ С НУЛЕВЫМ ПРОВОДОМ»

Ключевые слова: трансформатор, магнитное поле, магнито-движущая сила, магнитный поток.

Аннотация. В работе рассмотрены особенности намагничивания трансформатора со специальной схемой соединения обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом», распределение МДС и магнитных потоков в его магнитной системе.

1. Введение.

Для снижения несимметрии и несинусоидальности напряжений в сельских электрических сетях напряжением 0,4 кВ авторы рассматривают возможность использования на подстанциях 10/0,4 кВ трансформаторов со специальной схемой соединения обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом» [1]. Ее особенность в том, что вторичные фазные обмотки состоят из трех частей с соотношением количества витков $0,5W_2:0,25W_2:0,25W_2$, размещенных на разных стержнях магнитопровода и соединенных последовательно.

Предлагаемый трансформатор устойчив к искажающим воздействиям со стороны нагрузки и имеет нулевую группу соединения обмоток, что дает возможность включать его на параллельную работу с наиболее часто применяемыми трансформаторами «звезда-звезда с нулевым проводом» с нулевой группой соединения.

2. Основная часть

В нагрузочном режиме результирующее магнитное поле трансформатора создается совместно первичной и вторичной обмотками. А МДС в стержнях магнитопровода фаз «А», «В» «С», с учетом направления намотки и маркировки выводов частей вторичных фазных обмоток будут равны соответственно:

$$\begin{aligned} f_A &= i_{A\mu} W_1 = i_A W_1 + i_a \frac{W_2}{2} - i_b \frac{W_2}{4} - i_c \frac{W_2}{4}, \\ f_B &= i_{B\mu} W_1 = i_B W_1 + i_b \frac{W_2}{2} - i_a \frac{W_2}{4} - i_c \frac{W_2}{4}, \\ f_C &= i_{C\mu} W_1 = i_C W_1 + i_c \frac{W_2}{2} - i_a \frac{W_2}{4} - i_b \frac{W_2}{4}, \end{aligned} \quad (1)$$

где $-i_A, i_B, i_C$ – мгновенные значения фазных токов первичной обмотки, А; i_a, i_b, i_c – мгновенные значения фазных токов вторичной обмотки, А; $i_{A\mu}, i_{B\mu}, i_{C\mu}$ – мгновенные значения намагничивающих токов трех фаз, А; W_1, W_2 – количество витков в одной фазе первичной и вторичной обмоток, шт.

Первичные фазные обмотки оказывают намагничивающее действие на стержни магнитопровода, половины обмоток этих же фаз – размагничивающее, а четверти обмоток двух других фаз часть периода изменения тока подмагничивают стержни, а часть периода – размагничивают.

Если рассматривать трехстержневой магнитопровод в целом, то результирующая МДС первичной обмотки оказывают намагничивающее действие на трансформатор, а МДС вторичной обмотки – размагничивающее. При этом результирующее магнитное поле не зависит от величины нагрузки, потому что пропорционально изменению вторичных токов изменяются токи первичной обмотки, а изменение размагничивающего действия вторичной обмотки ком-

пенсруется пропорциональным изменением намагничивающего действия первичной обмотки.

МДС вызывают магнитные потоки. На рисунке 1 представлена схема распределения МДС и магнитных потоков трансформатора в момент времени, соответствующий заданному направлению токов в обмотках.

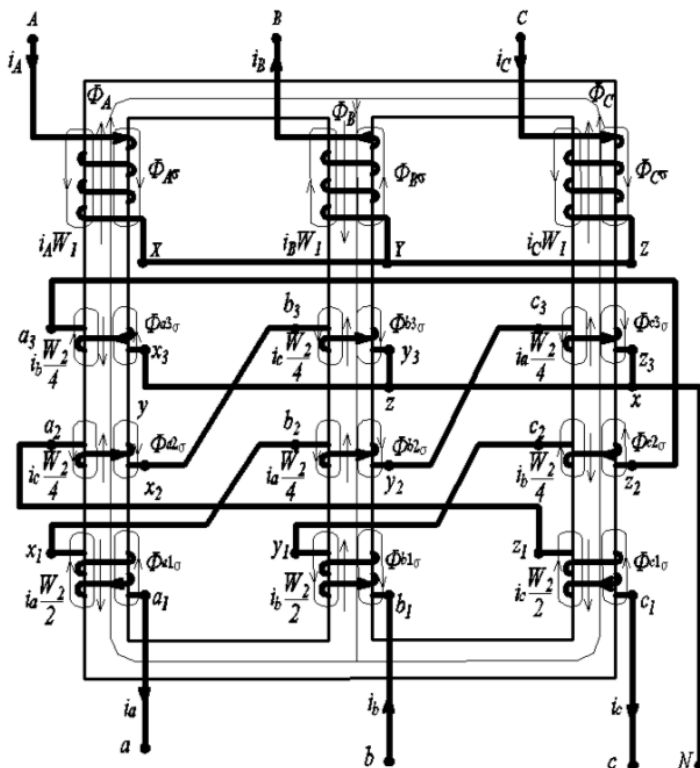


Рисунок 1. Схема распределения МДС и магнитных потоков трансформатора

Основные магнитные потоки замыкаются по магнитопроводу по пути наименьшего магнитного сопротивления и равны:

$$\Phi_A = \frac{f_A}{R_{A\mu}}; \Phi_B = \frac{f_B}{R_{B\mu}}; \Phi_C = \frac{f_C}{R_{C\mu}}, \quad (2)$$

где $R_{A\mu}, R_{B\mu}, R_{C\mu}$ – сопротивления магнитных цепей соответствующих фаз, Гн^{-1} .

Так как МДС трансформатора не зависит от величины нагрузки, то основной магнитный поток и индуцируемые им ЭДС в обмотках также не зависят от нее.

Магнитное поле трансформатора имеет пространственное распределение. Поэтому часть его силовых линий замыкается, минуя магнитопровод и создавая потоки рассеяния первичной обмотки $\Phi_{A\sigma}, \Phi_{B\sigma}, \Phi_{C\sigma}$, а также частей вторичной обмотки $\Phi_{a1\sigma}, \Phi_{a2\sigma}, \Phi_{a3\sigma}, \Phi_{b1\sigma}, \Phi_{b2\sigma}, \Phi_{b3\sigma}, \Phi_{c1\sigma}, \Phi_{c2\sigma}, \Phi_{c3\sigma}$. Магнитные потоки рассеяния в основном сцеплены с создающими их обмотками и индуцируют в них ЭДС рассеяния.

Заключение.

Магнитное поле вторичной обмотки трансформатора со схемой соединения обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом» создается тремя частями каждой из ее фаз, размещенных на разных стержнях магнитопровода. Половины вторичных фазных обмоток размагничивают стержни, на которых они расположены, а четверти - за период изменения тока попеременно оказывают и намагничивающее и размагничивающее действие.

Результирующее магнитное поле трансформатора не зависит от нагрузки, так как изменение размагничивающего действия вторичной обмотки компенсируется пропорциональным изменением намагничивающего действия первичной обмотки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Трехфазный симметрирующий трансформатор с четной группой соединения обмоток: пат. 16008 Респ. Беларусь, МПК7 Н 01F 30/12 / А.И. Зеленкевич, В.М. Збродыга; заявитель Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет» - № а 20100121; заявл. 2010.02.01; опубл. 30.06.2012 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2012. – № 3. – С. 180-181.

Иванов В.П., д.т.н., профессор; Дронченко В.А.
Полоцкий государственный университет, Полоцк,
Республика Беларусь

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ РЕМОНТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ В КАЧЕСТВЕ ДОБАВКИ К ТОПЛИВУ ПАРОВЫХ КОТЛОВ

Ключевые слова: Нефте содержащие отходы, эмульсия, утилизация, геоэкология

Аннотация. Представлены результаты исследований по получению эмульсии на основе нефте содержащих отходов предприятий по ремонту машин и оборудования с помощью ударных волн, генерируемых при работе пневматического излучателя. Предложено использовать полученную эмульсию в качестве добавки к основному топливу котельных установок.

В жидких отходах ремонтного предприятия содержатся моторные и трансмиссионные масла, консистентные смазки, топливные фракции, смазочно-охлаждающие жидкости, отработанные растворы технических моющих средств и др. [1]. Данные отходы накапливаются на предприятиях, представляя угрозу здоровью работников и окружающей среде. Между тем, эти вещества могут быть не только отходами, но и ценным сырьем.

Многие ремонтные предприятия имеют котельные установки, которые относятся как к крупным потребителям топливно-энергетических ресурсов, так и крупным источникам выбросов загрязняющих веществ. За эти выбросы предприятия платят экологический налог.

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.

В промышленных масштабах данный метод практически не используется. Это объясняется во многом тем, что при снижении

температуры факела снижается КПД котла, а значит, необходим дополнительный объем топлива [2].

Из изложенного выше следует, с одной стороны, на предприятиях образуются нефтесодержащие отходы (НСО), разделение которых на нефтепродукты и воду требует значительных капитальных и текущих затрат, а, с другой стороны, добавление воды к топливу сжигаемому на котельных установках предприятия позволяет уменьшить выброс в атмосферу оксидов азота NO_x и оксида углерода (II), а также не только компенсировать потери основного топлива, но и обеспечить его экономию.

В Полоцком государственном университете были проведены исследования, которые позволили получить мелкодисперсную эмульсию типа «вода в масле» на основе НСО, обладающую требуемой стабильностью с помощью ударных волн, генерируемых пневматическим излучателем [1, 3, 4].

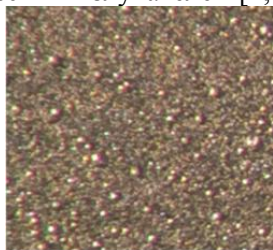


Рисунок 1 – Фотография эмульсии при увеличении ($\times 100$)

Размеры капель дисперсной фазы (воды) определяли при помощи объект-микрометра и микроскопа стереоскопического МБС-10. На рисунке 1, представлена фотография эмульсии на основе НСО, под микроскопом.

На рисунке 2 представлено распределение размеров капель дисперсной фазы (воды) эмульсии по линейным размерам с содержанием воды 40 % от объема эмульсии.

Из полученной эмульсии в течение недели выделилось не более 2 % воды от объема эмульсии [5]. Распределение капель воды по размерам меняется по кривой Гаусса. Максимальное число капель лежит в диапазоне размеров 40–60 мкм и составляет 37 %. Содержание капель размером менее 20 мкм составляет около 8 %, а содержание капель воды размером более 120 мкм близко к нулю.

При использовании эмульсии в качестве добавки к основному топливу сжигаемому в котле ДКВр-6,5-13 ГМ на Полоцком заводе «Проммашремонт» было установлено, что увеличение влагосодержания топлива сжигаемого в котле позволило снизить содержание оксидов азота в дымовых газах котла на 24–45 %.

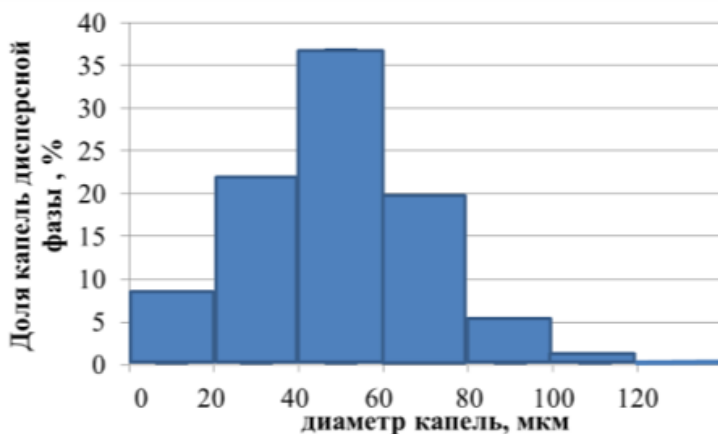


Рисунок 2 – Распределение капель дисперсной фазы (воды) по диаметру

Снижение концентрации оксидов азота достигнуто за счет сокращения времени горения капель влагосодержащего топлива, уменьшения длины факела и снижения температуры факела по сравнению с горением обезвоженного топлива. Наблюдалось уменьшение расхода основного топлива на 3–5 %.

ЛИТЕРАТУРА

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. 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. 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.
5. 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.

Капустинский А.Ю., Радкевич В.Н. к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

СОБСТВЕННЫЕ ГЕНЕРИРУЮЩИЕ ИСТОЧНИКИ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ АПК

Ключевые слова: источник питания, генерирующая установка, когенерация, тригенерация. электрооборудование, электроустановка, автономное электроснабжение, качество напряжения

Аннотация. В работе проанализированы существующие системы электроснабжения потребителей с собственными генерирующими источниками. Показана целесообразность применения в обоснованных случаях автономного электроснабжения объектов разного назначения. Рассмотрены наиболее целесообразные варианты построения автономных систем электроснабжения.

В системах электроснабжения (СЭС) разных объектов собственные генерирующие установки получили достаточно широкое распространение в качестве, как основного, так и резервного источников питания (ИП) [1]. Они могут использоваться в системах централизованного и автономного электроснабжения сельскохозяйственных, промышленных и других потребителей электроэнергии.

В первую очередь на промышленных объектах могут быть целесообразны установки, позволяющие осуществлять когенерацию (комбинированную выработку электроэнергии и теплоты) и тригенерацию (совместную выработку электроэнергии, теплоты и холода). Но даже при отсутствии потребности в когенерации или тригенерации на предприятии может быть технически необходимым и экономически выгодным использование собственных генерирующих источников. Рассмотрим некоторые из таких случаев.

При электроснабжении предприятия от энергосистемы (ЭС) собственные ИП могут быть эффективным средством обеспечения надежности и качества электроснабжения потребителей. Например, предприятие, получающее электроэнергию от маломощного ИП энергосистемы, на шинах которого мощность трехфазного короткого замыкания S_k невелика, может испытывать затруднения с самозапуском электродвигателей, компенсацией реактивной мощности (РМ) и качеством напряжения.

На промышленных предприятиях АПК используются электроприемниками с нелинейными нагрузками (вентильные преобразователи, газоразрядные источники света, сварочные установки и т.д.), генерирующие высшие гармоники напряжения и тока. Согласно [2], в узле сети предприятия допускается применение батарей конденсаторов, если S_k не менее чем в 200 раз больше суммарной мощности нелинейных нагрузок $S_{нл}$ вентильных преобразователей, и не менее чем в 100 раз превышает $S_{нл}$ других приемников с нелинейными нагрузками.

Применение собственного генерирующего источника позволит получать от него определенное количество РМ, снизив тем самым реактивную нагрузку питающих линий, и повысит качество напряжения, подведенного к шинам потребителя электроэнергии.

Автономные системы электроснабжения (АСЭС) могут использоваться на объектах, удаленных от электроустановок ЭС, или вследствие особенностей ландшафта. В таких случаях может возникать необходимость увеличения напряжения линий электропередачи, применения дорогостоящих элементов сети, удовлетворяющих условиям окружающей среды. Кроме того, могут потребоваться дополнительные средства поддержания качества напряжения.

Определенной проблемой является то, что часто объекты, расположенные удаленно от ЭС, не являются крупными, и применение высоковольтного оборудования, выпускаемого серийно и обладающего высокой пропускной способностью, вызывает недоиспользование данного оборудования. При подключении электроприемников таких объектов к электрическим сетям ЭС значительно увеличивается стоимость электроэнергии при обеспечении её качества на требуемом уровне по сравнению с применением АСЭС. Указанные причины во многих случаях обуславливают отказ от централизованного электроснабжения потребителей и применение автономных источников электроэнергии.

В Республике Беларусь АСЭС могут использоваться для обеспечения энергией небольших промышленных предприятий АПК по переработке сельскохозяйственной продукции, асфальтобетонных заводов, объектов придорожного сервиса, коммунально-бытовых объектов и др.

Так как для потребителей электроэнергии децентрализованных зон необходим гарантированный источник питания, наиболее пер-

спективным вариантом построения изолированных энергетических систем представляются комбинированные АСЭС с энергетическими установками возобновляемой энергетики [1]. Преимущество комбинированных АСЭС достигается за счет низкой себестоимости электроэнергии, получаемой от альтернативных источников вследствие отсутствия расходов на закупку и транспортировку топлива.

Наиболее эффективными являются комбинированные АСЭС, в состав которых входят разные типы электростанций (дизельные, ветряные, фотоэлектрические и т.д.) с буферным накопителем электроэнергии. АСЭС с использованием только возобновляемых источников энергии могут быть целесообразными для электроснабжения небольших сельскохозяйственных объектов.

Заключение.

Системы электроснабжения с собственными генерирующими источниками находят применение в разных станах для обеспечения электрической и тепловой энергией сельскохозяйственных, промышленных, коммунально-бытовых и других объектов.

Мировая практика показывает целесообразность использования автономных систем электроснабжения, что обуславливает необходимость разработки методов их рационального построения, использования, совершенствования и развития с учетом энергоэкономических и экологических аспектов каждого региона страны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Обухов, С.Г. Применение накопителей энергии для повышения энергоэффективности ветродизельных электростанций / Лукутин Б.В., Шутов Е.А., Хошнау З.П. – Электричество. – 2012 – №. 6 – С. 24-28.
2. Инструктивные материалы Главгосэнергонадзора / Минэнерго СССР. – 3 изд. – М.: Энергоатомиздат, 1986.-352 с.

Ковалев А.В.
*Таврический государственный агротехнологический
университет, г. Мелитополь, Украина*

ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБА ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ МОТОБЛОКА С ТЯГОВЫМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ

Ключевые слова: электромоторблок, вспашка, питающий кабель, аккумулятор, энергоемкость, конденсаторный модуль.

Аннотация: Рассмотрены существующие способы электропитания мобильной электрифицированной техники, в том числе мотоблоков. Обоснованы наиболее эффективные способы электропитания: аккумуляторный и с использованием гибкого провода и кабельно-барабанного устройства.

Одним из важных факторов, определяющих эффективность технологического процесса вспашки почвы и других операций, выполняемых электромоторблоком в теплицах, на приусадебных участках и малых фермерских хозяйствах, является способ электропитания мобильного агрегата. В [1] был обоснован тип и рассчитана мощность тягового электродвигателя постоянного тока привода электромоторблока, позволяющего значительно снизить энергозатраты при основных видах обработки почвы.

При кабельном способе электропитания применяются кабель-шторы, лотковые системы и кабельно-барабанные устройства. Кабель-штора представляет собой питающий гибкий кабель, подвешенный при помощи колец или скоб к несущему тросу или проволоке, натянутых между опорами. Кольца или скобы из листового железа прикрепляются к кабелю и при натяжении кабеля свободно перемещаются по тросу. Обычно шаг между скобами составляет 1,5...2,0 м. Один конец кабеля присоединяется к питающей сети, другой к мотоблоку, движущемуся вдоль несущего троса, растягивая или собирая кабель. При этом обеспечивается возможность маневрирования агрегата в определенных пределах в поперечном направлении относительно кабель-шторы. Степень свободы маневрирования зависит от длины кабеля [2].

Ввиду невысоких требований к гибкости и прочности питающего кабеля для кабель-штор в основном применяются кабели марки КрТП и КрПГН с резиновой изоляцией, двух или четырехжильные с сечением медных жил до $2,5 \text{ мм}^2$. Такой кабель пригоден для работы в различных атмосферных условиях с длительно допустимой температурой жил кабеля 65°C . Изгиб кабеля и усилие к нему во время работы незначительны. Изгиб происходит только под действием собственной массы участка кабеля, длина которого равна шагу установки скоб. Усилия при растяжении и сборе кабель-штор также определяются собственной массой кабеля и трением скоб о несущий трос или стальную проволоку и не превышает 150 Н [2].

В последнее время для электропитания мотоблоков получил кабель марки ПВС с виниловой оболочкой и медными жилами сечением от $0,75$ до $2,5 \text{ мм}^2$. Изоляция из винила придает кабелю жесткость, что исключает образование петель при изменении направления движения мотоблока. К преимуществам такого кабеля можно отнести противодействие истиранию и достаточно высокая прочность. Штепсельное соединение кабеля выполняется герметизированным двух- или трехштыревым и снабжается дополнительными замками-фиксаторами, предохраняющими отключение кабеля от сети при натяжении. При обработке небольших земельных участков отмечаются примеры успешного применения питающего кабеля марки ПВС при непосредственном его перемещении во время работы по поверхности грунта.

Для питания электромотоблоков также производятся кабели-удлинители в виде спиральной пружины, аналогичных удлинителю-спирали стационарных телефонных аппаратов, лежащей на земле, растягивающейся при удалении агрегата и сжимающейся при его приближении к месту питания. Обычно длина такого кабеля не превышает 50 м .

В [3] приводится конструкция кабель-шторы в которой несущий трос замене жестким полками монорельса, по которому движутся каретки с закрепленным на них гибким кабелем. Такая конструкция с электроприводом позволяет двигаться как по прямолинейным, так и по криволинейным участкам.

Что касается таких способов электропитания мобильных электрифицированных сельскохозяйственных машин, как троллейный и

лотковый, то для рассматриваемого класса электромоторблоков они неприемлемы вследствие сложности и большой стоимости [3].

Заслуживает внимание аккумуляторный способ питания электромоторблоков легкой и средней серии с электродвигателями мощностью до 3-х кВт. Такие мобильные агрегаты были созданы в Болгарии и США, однако широкого распространения не получили в связи с большой массой и малой энергоемкостью аккумуляторных батарей. По мнению специалистов аккумуляторные батареи с удельной энергоемкостью 100 Вт·ч/кг. и более могут быть в ближайшей перспективе использованы в качестве источников питания электромобильных транспортных средств, в том числе и моторблоков с электроприводом постоянного тока.

Анализ существующих способов электропитания электромоторблоков показал, что наиболее эффективным является аккумуляторный способ питания при наличии аккумуляторов с энергоемкостью 100 Вт·ч/кг и выше с малой массой и относительно стоимостью. Поскольку в настоящее время массовое производство таких аккумуляторов не налажено, наиболее рациональным является централизованное электропитание моторблоков с электроприводом использованием сети переменного тока напряжением 220 В, гибкого провода и кабельно-барабанного устройства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ковальов, О.В. Розрахунок потужності та вибір тягового електродвигуна приводу моторблока/ О.В. Ковальов, Ю.М. Купенко, Г.Н. Назар'ян// Праці Таврійського державного агротехнологічного університету – Вип. 10, Т.8- Мелітополь: ТДАТУ, 2010. – С. 228-238.

2. Коцыгин, В.В. Перспективные мобильные энергетические средства (МЭС) для сельского хозяйства/ В.В. Коцыгин, Г.С. Горин. – Мн.: Наука и техника, 1982. – 272 с.

3. Молоснов, Н.Ф. Электрификация мобильных процессов в сельском хозяйстве/ Н.Ф. Молоснов, М.Д. Гоишин, А.С. Акимов: Обзорная информация. – М. ВНИИТЭИСХ, 1984. – 64 с.

**Константинова С.В., к.т.н., доцент,
Ярошевич Т.М., магистр техн. наук**
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

К ВОПРОСУ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ МИНИЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Ключевые слова: энергосбережение, энергоэффективность, повышение энергоэффективности, системный подход, энергоаудит, энергетический паспорт.

Аннотация. В работе рассматривается необходимость проведения системного анализа энергопотребления производственных и сельскохозяйственных объектов, учитывая индивидуальные специфические условия работы каждого конкретного хозяйства.

Как известно, под энергосбережением понимается реализация правовых, организационных, научных, производственных, технических и экономических мер, направленных на эффективное использование и экономное расходование топливно-энергетических ресурсов (совокупности природных и производственных энергоносителей, запасенная энергия которых, при существующем развитии техники и технологии доступна для использования в хозяйственной деятельности) и на вовлечении в хозяйственный оборот возобновляемых источников энергии.

Энергоэффективность – совокупность характеристик, отражающих отношение полезного эффекта использования энергетических ресурсов к затратам энергетических ресурсов, произведенным в целях получения такого эффекта, применительно к продукции или технологическому процессу (рациональное, т.е. экономически оправданное использование ресурсов в отношении к объему производимой продукции).

Особенности функционирования сельскохозяйственной отрасли накладывают отпечатки на особенности потребления и распределения энергии и ресурсов, в связи с чем необходим комплексный процесс реализации политики энергосбережения.

Цель энергосбережения - достижение максимальной эффективности использования топливно-энергетических ресурсов (ТЭР). Рациональное использование ТЭР, это достижение максимально возможной эффективности использования ТЭР при существующем уровне техники и технологий.

Есть общие проблемы в сфере энергосбережения и повышения энергоэффективности для всех отраслей: значительный износ основных фондов, высокая аварийность оборудования, обусловленная превышением его ресурса и недостаточной технологической дисциплиной; значительные потери при производстве и потреблении энергии, высокий расход первичных топливных ресурсов; несоответствие оснащенности производства современному научно-техническому уровню и т.п. Неоправданно высокий уровень энергопотребления, низкое качество и неэффективное использование электрической энергии - характерные черты многих аграрных предприятий и сельских территорий. Анализ результатов энергетических исследований показывает, что наиболее затратным энергоносителем является электрическая энергия (до 60 %). Использование электроэнергии в сельскохозяйственном производстве происходит в следующих направлениях: освещение, электронагрев, электропривод машин и механизмов, электротехнология и системы управления. Затраты на последнее — минимальные. Электротехнология применяется незначительно. Затраты на электропривод тесно связаны с технологией производства (доение, уборка навоза и т. д.) и трудно регулируются. Снижение затрат на электропривод влечет изменение технологии производства, однако большое число двигателей в настоящее время эксплуатируются с минимальной нагрузкой, что является неэффективным

Поэтому первоочередной задачей экономии ТЭР является снижение необоснованных энергозатрат, величина которых достигает 30-40% общего отпуска электроэнергии сельскому хозяйству. Поэтому, весьма перспективными для производств АПК являются собственная генерация различных видов энергии, внедрение энергоэффективных и энергосберегающих технологий для производства продукции животноводства и растениеводства; внедрение системы когенерации и тригенерации для автономных сельскохозяйственных потребителей, позволяющие получать значительную экономию ТЭР; использование электрооборудования,

имеющее высокий класс энергоэффективности. Следует использовать мировой опыт в области энергоэффективности и энергосбережения, учитывая индивидуальные специфические условия работы конкретного хозяйства. Для чего необходим системный и комплексный подход с проведением исследований по поиску и разработке рациональных решений. Также повышение энергосбережения и энергоэффективности в сельском хозяйстве возможно благодаря интеллектуальным электрическим сетям, которые представляют единую автоматизированную систему, аккумулирующую и отслеживающую всех участников процесса энергоснабжения, состояние коммуникаций, что способствует бесперебойному снабжению и снижению влияния человеческого фактора

Заключение. Эффективность энергообеспечения и энергопотребления в значительной степени зависит от уровня научного и кадрового обеспечения. К его недостаткам следует отнести отсутствие стратегических исследований, систем энергообеспечения и энергосберегающего оборудования. В качестве действенных мер снижения энергопотребления в агропромышленном комплексе возможно использовать проведение энергоаудита и составление энергетического паспорта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Эрк А. Ф., Судаченко В. Н., Размук В.А., Бычкова О. В. Результаты энергетического обследования сельхозпредприятий // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства / ИАЭП. — СПб, 2014. — № 85. — С.100–105.

2. Тимофеев Е. В., Эрк А. Ф., Судаченко В. Н., Размук В. А. Повышение энергоэффективности в сельском хозяйстве // Молодой ученый. — 2017. — №4. — С. 213-217.

3. Букато В.М., Русан В.И. Экономические аспекты снижения расхода ТЭР в народном хозяйстве РБ. Материалы семинара БСПиН. —Минск, 2003.

**Короткевич М.А., д.т.н., профессор,
Белорусский национальный технический университет, Минск,
Республика Беларусь**

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КАБЕЛЕЙ С ИЗОЛЯЦИЕЙ ИЗ СШИТОГО ПОЛИЭТИЛЕНА В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Целесообразность применения более дорогих кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена по сравнению с кабелями с бумажно-масляной изоляцией рассмотрим применительно к кабельным линиям, выполненным кабелями:

- трехжильными площадью поперечного сечения жил 35-240 мм² напряжением 6-35 кВ;
- одножильными площадью поперечного сечения жил 35-240 мм² (кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена) и трехжильными той же самой площади поперечного сечения жил (кабели с бумажно-масляной изоляцией) напряжением 6-35 кВ;
- одножильными площадью поперечного сечения жил 150-630 мм² (кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена) и одножильными той же площади поперечного сечения жил (кабели маслонаполненные с бумажно-масляной изоляцией) напряжением 110 кВ.

Установлено, что увеличение стоимости кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена по сравнению со стоимостью кабеля с бумажно-масляной изоляцией в 1,2-2,0 раза приведет к увеличению стоимости сооружения линии с кабелем с изоляцией из сшитого полиэтилена в 1,1-1,48; 1,07-1,37; 1,11-1,57; 1,06-1,3 раза соответственно для линий напряжением 6-10; 20; 35; 110 кВ.

Комплексную оценку целесообразности применения кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена дадим с использованием метода многоцелевой оптимизации.

Сравнительные технические характеристики силовых электрических кабелей с бумажно-масляной изоляцией и изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжения 6...110 кВ приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Сравнительные технические характеристики силовых электрических кабелей с бумажно-масляной изоляцией и изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 6...110 кВ

Наименование показателей	Силовые электрические кабели с изоляцией	
	бумажно-масляной ААБ/ЦАСБ	из сшитого полиэтилена АПвП
1. Длительно-допустимая температура нагрева жил, °С	70	90
2. Допустимая температура нагрева жил кабеля от протекания токов короткого замыкания, °С	200	250
3. Надежность работы (параметр потока отказов или наработки на отказ), отказ/км·год	0,12	0,012
4. Кабели на напряжение 10 кВ с площадью поперечного сечения алюминиевых жил 185 мм ²		
4.1 масса барабанов, кг	7115*/10599*	7955*/6527**
4.2 наружный диаметр, мм	59,7*/63,5*	73,27*/34,01**
4.3 допустимый радиус изгиба по отношению к наружному диаметру кабеля, относ. единицы	25*/15*	10*/15**
4.4 допустимый диапазон температур, при которых не требуется предварительный подогрев кабеля перед перекладкой, °С	0...40	-20...+40
5. Относительная диэлектрическая проницаемость изоляции ϵ_n	3,5	2,3
6. Допустимая разность высот прокладки кабеля, м	15/не ограничена	не ограничена
7. Влияние на окружающую среду		
7.1 нагрев почвы, °С	50-55	70-75
7.2 загрязнение почвы пропиточным составом	есть	нет
7.3 влияние на организм человека	свинцовая оболочка (категория опасности III)	оболочка из поливинилхлоридного полиэтилена (категория опасности II)

В терминах метода многоцелевой оптимизации задачу сформулируем следующим образом: необходимо оценить целесообразность применения кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена на

напряжение 6-110 кВ по сравнению с кабелями с бумажно-масляной изоляцией при достижении следующих целей:

- минимума приведенных затрат на сооружение и эксплуатацию кабельных линий; максимума надежности работы; максимума удобства монтажа; максимальной длины линии без компенсации зарядной мощности; максимума допустимой разности высот прокладки кабеля; минимального воздействия на окружающую среду.

Значения критерия оптимизации для кабелей с бумажной изоляцией и изоляцией из сшитого полиэтилена приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Значения критерия оптимизации

Наименование кабелей	Значения критерия оптимизации для кабелей		
	ААБ	ЦАСБ	АПвП
1. Трехжильные кабели на напряжение 10кВ	0,558	0,615	0,959
2. Трехжильные кабели с бумажно-масляной изоляцией и одножильные кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 10 кВ	0,536	0,579	0,959
3. Одножильные масло-наполненные кабели с бумажно-масляной изоляцией типа МНС и одножильные кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена типа ПвП на напряжение 10 кВ	0,536 (МНС)	-	0,967 (ПвП)

Как видно из таблицы 2, значение критерия оптимизации, характерное для кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена, превышает соответствующее значение критерия оптимизации для кабелей с бумажно-масляной изоляцией в 1,6-1,8 раза, что означает безусловную эффективность использования кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена по сравнению с кабелями с бумажно-масляной изоляцией.

Заключение

Целесообразность применения более дорогих кабелей напряжением 6-110 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена доказана нами на основе метода многоцелевой оптимизации, где учитывались как приведенные затраты на сооружение и эксплуатацию кабельных линий, так и надежность ее работы, а также удобство монтажа., возможность работы линии без компенсации емкостных токов, до-

пустимая разность высот прокладки кабеля, воздействие кабельных линий на окружающую среду.

Крутов А.В., к.т.н., доцент, Петрова А.А., магистр техн. наук
УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Ключевые слова: Электровооруженность труда, прогнозирование, моделирование, электропотребление, энергоэффективность, электротехнологии

Аннотация. В докладе приведены анализ известных методов прогноза электропотребления в сельскохозяйственном производстве, перспектив роста электровооруженности труда. Современный прогноз должен учитывать внедрение новых электротехнологий и энергоэффективность производства.

Оценка потребности в электроэнергии для сельскохозяйственного производства на ближнюю и более отдаленную перспективу очень важна. С одной стороны это необходимо для определения уровня и темпов развития систем электроснабжения села, ввода новых источников электрической энергии, реконструкции и строительства электрических сетей. С другой стороны – прогноз позволяет оценить уровень предстоящих затрат на электроснабжение сельскохозяйственного производства, принять решение о переоснащении производства, внедрении энергосберегающих технологий, оборудования.

В периоды плановой экономики прогнозы составлялись как на пятилетки, так и на более долгосрочную перспективу развития сельского хозяйства и использовались следующие традиционные методы [1,2]:

- метод экстраполяции;
- нормативный метод (метод моделирования);
- экономико-математические методы;
- экспертный метод.

Метод экстраполяции используется для оценки перспектив на основе данных статистики за некоторый прошедший период. Данный метод применяется при относительно стабильном функционировании и развитии производства. На современном этапе наблюдается тенденция к сокращению электропотребления в сельскохозяйственном производстве. Во многом это объясняется значительным удельным ростом стоимости затрат энергоресурсов в себестоимости производимой продукции. Для использования этого метода в прогнозировании электропотребления в настоящее время нет оснований.

Нормативный метод (метод моделирования) состоит в нормировании электропотребления в сельском хозяйстве и доведении объемов производства той или иной продукции. То есть, норматив – это установление нормы расхода электроэнергии в производстве, быту в расчете на принятый удельный показатель. С вводом в эксплуатацию Белорусской АЭС, наличием достаточного количества свободной электроэнергии, этот метод может быть востребован на определенный период времени. Однако следует учитывать, что в энергетическом обеспечении возможна специфика использования и выгоды различных видов энергоносителей, принимается во внимание удаленность потребителей от источников энергии, объемы производства, характер и условия застройки жилого сектора, производственной сферы, объектов социально-культурного назначения и т.п. Здесь трудно предусмотреть возможности внедрения энергоэффективных технологий и оборудования, которые могут рождаться в ходе научно-технического прогресса. Потребность в огромном количестве информации при разработке норм, делает нормативный метод трудоемким, особенно при прогнозировании на длительный период.

Экономико-математическое моделирование заключается в получении зависимостей между электропотреблением и другими показателями производственной деятельности, которые могут быть разноплановыми: объемы инвестиций, уровень автоматизации, производительность труда и т.д. При этом дается оценка влияния каждого фактора на электропотребление, т.е. проводится их ранжирование – определение наиболее влияющих. Это также весьма трудоемкий метод, так как в настоящее время отсутствуют четкая, объективная информация о влияющих факторах.

Экспертный метод используют при отсутствии или недостаточном объеме статистических данных, когда налицо ряд других неопределенностей. Этот метод является дополнительным к другим методам. Он подтверждает или опровергает ту или иную методику прогнозирования электропотребления.

Приведенный обзор традиционных методов показывает, что их применение на современном этапе затруднительно. Для получения прогнозных показателей электропотребления необходима современная методика определения потребности в электроэнергии для сельскохозяйственного производства.

Развитие электромеханизации и автоматизации производственных процессов, как правило, сопровождается увеличением потребления электроэнергии, ростом электровооруженности труда. С экономической точки зрения темпы роста производительности труда должны опережать темпы роста электровооруженности труда. Для этого следует экономно использовать электроэнергию, следить, чтобы удельный ее расход на единицу созданной продукции имел тенденцию к снижению. Только в этом случае рост электровооруженности труда будет рациональным и эффективным. Рекомендуется ежегодно проводить анализ электровооруженности и производительности труда, по его результатам корректировать мероприятия по энергоэффективности производства. Когда отмечается рост удельных затрат электроэнергии на единицу произведенной продукции и отсутствует увеличение производительности труда, необходимо внедрять более эффективные электротехнологии, менее энергозатратное электрооборудование, упразднять непроизводственное электропотребление, одним словом проводить мероприятия по электросбережению.

В соответствии с Концепцией национальной стратегии устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 года сельское хозяйство страны должно стать высокотехнологичным наукоемким видом экономической деятельности с низким уровнем ручного труда и широким использованием роботизированного производства. Широкое применение в животноводстве и растениеводстве должны получить автоматизированные и роботизированные системы машин. Достижение этой задачи будет сопровождаться ростом электровооруженности труда.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тихомиров, А.В. Направления и прогнозные показатели развития энергообеспечения сельского хозяйства/А.В. Тихомиров // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве – М: ВИЭСХ, 2004 – Ч.1. – С.72-79.
2. Стребков, Д.С. Перспективы развития энергосберегающих электротехнологий в сельскохозяйственном производстве // Д.С. Стребков, Б.П. Коршунов, А.В. Тихомиров // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве. Труды 3-й Междунар. науч.-техн. конф. Ч. 1. ГНУ ВИЭСХ, 2003. С. 291-296.

Постникова М.В., к.т.н., доцент
Таврический государственный агротехнологический университет, Мелитополь

ОСНОВНЫЕ ФУНКЦИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ ЗЕРНООЧИСТИТЕЛЬНО-СУШИЛЬНЫХ ПУНКТОВ

Ключевые слова: энергосбережение, рациональное использование электроэнергии, электропривод, экономия электроэнергии.

Аннотация. Рассмотрены вопросы основных функций энергетического мониторинга зерноочистительно-сушильных пунктов.

Проведение энергетического мониторинга разрешит осуществлять наблюдение за режимом электропотребления на зернопунктах, регистрировать основные показатели, выявить влияние внешних и внутренних факторов на эффективность электропотребления, что будет содействовать рациональному использованию энергоресурсов на зернопунктах и повышению уровня энергоэффективности.

Обеспечить эффективное электропотребление и рациональное использование энергетических ресурсов на зернопунктах можно лишь при условии комплексного подхода к задачам энергосбережения, повышение уровня энергоэффективности зернопунктов, управление режимом электропотребления. Это требует обследования и сбора исходных данных о зернопунктах, их режимы электропотребления, выявление источников нерациональных затрат, а

также факторов, которые обеспечат необходимые значения параметров режима работы технологического оборудования при минимальных затратах электроэнергии.

Решить эти задачи возможно лишь при условии всестороннего энергетического мониторинга зернопунктов, эффективности организации их режима работы, энергоиспользования, а также выполнения запланированных энергосберегающих мероприятий, соблюдения установленных значений энергетических показателей.

Комплексная система организации работы по экономии электроэнергии состоит из четырех основных этапов работы, которые связаны между собой (рисунок 1).

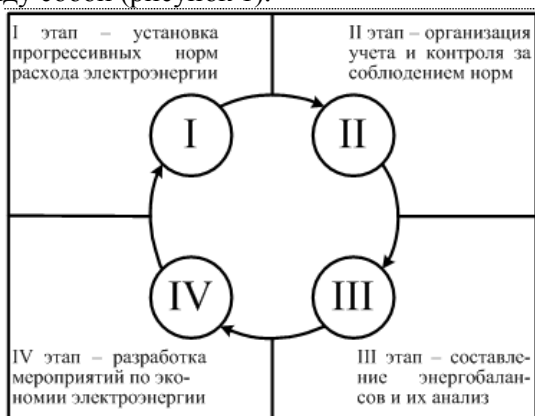


Рисунок 1 – Комплексная организация работы по экономии электроэнергии на зернопунктах

Первый этап - установление прогрессивных норм расхода электроэнергии. При этом должны быть установлены нормы расхода электроэнергии для всего зерноочистительного агрегата в целом.

Второй этап - организация учета и контроля за соблюдением норм. На этом этапе работы осуществляется оперативный контроль за расходом электроэнергии на зернопунктах.

Третий этап - составление энергобалансов и их анализ по агрегату, а потом по зернопункту в целом. На этом этапе работы анализируются расходы электроэнергии по статьям расхода и потерь.

Четвертый этап - разработка мероприятий по экономии электроэнергии. На этом этапе работы намечают конкретные мероприятия

по снижению затрат энергии. Указываются сроки реализации и эффективность.

Контроль за фактическим расходом электроэнергии на зернопунктах должен проводиться только по приборам учета (электросчетчикам).

Хотя сами по себе счетчики не экономят энергию, их установка обеспечивает обратную связь, необходимую для определения результатов осуществления программы экономии энергии. Экономия обусловлена появлением возможности учета использования энергии и проверки эффективности мероприятий.

Достоинство системы комплексной организации работы по экономии электроэнергии заключается в том, что эта система:

- обязывает каждый зернопункт систематически, непрерывно и в плановом порядке вести работу по повышению эффективности использования электроэнергии;
- обязывает вести систематический контроль за изменением каждой статьи расхода энергии;
- обязывает к непрерывному поиску новых путей и резервов в области экономии энергии;
- обеспечивает закрепление достигнутых успехов в работе по экономии энергии и быструю реализацию всех резервов;
- содействует планомерной работе по реконструкции и модернизации технологического оборудования не только с точки зрения экономии энергии, но и повышению производительности труда и оборудования, т.е. содействует переходу к высшей форме организации по экономии электроэнергии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Методика энергетического мониторинга сельскохозяйственных объектов, выявление резервов и потенциала экономии топливно-энергетических ресурсов (ТЭР). – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2001. – 100 с.

2. Постнікова М.В. Енергозберігаючі режими роботи електро-механічних систем обробки зерна на зернопунктах: автореф. дис... канд. техн. наук / М.В. Постнікова. – Мелітополь, 2011. – 22 с.

3. Постнікова М.В. Розробка науково-обґрунтованих норм енергоємності при обробці зерна на зернопунктах / М.В. Постнікова // Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика: Вісник Національного технічного університету «Харківський

політехнічний інститут”. Тематичний збірник наукових праць. – Харків, 2008. – №30. – С. 511-512.

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

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

КОМПЕНСАЦИЯ КРАТНЫХ ТРЕМ ГАРМОНИК В ТРАНСФОРМАТОРЕ «ЗВЕЗДА-ДВОЙНОЙ ЗИГЗАГ С НУЛЕВЫМ ПРОВОДОМ»

Ключевые слова: трансформатор, высшие гармоники тока и напряжения, магнитодвижущая сила, магнитный поток.

Аннотация. В работе рассмотрен принцип компенсации кратных трем высших гармоник магнитного поля и ЭДС в трансформаторе со специальной схемой соединения обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом».

1. Введение.

Высшие гармоники токов и напряжений снижают эффективность процессов генерации, передачи и использования электроэнергии. Уменьшение уровней высших гармоник можно обеспечить рациональным построением схемы электрической сети и применением специальных корректирующих устройств: линейных дросселей, пассивных и активных фильтров высших гармоник, питающих трансформаторов со специальными схемами соединения обмоток. В частности, в сельских электрических сетях для этой цели авторы рассматривают возможность использования трансформаторов со схемой соединения обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом» [1].

2. Основная часть

При работе этого трансформатора на нелинейную нагрузку фазные токи кратных трем высших гармоник первичной обмотки и создаваемые ими МДС равны нулю:

$$i_{A(3n+3)} = 0, i_{B(3n+3)} = 0, i_{C(3n+3)} = 0, \quad (1)$$

$$i_{A(3n+3)} W_1 = 0; i_{B(3n+3)} W_1 = 0; i_{C(3n+3)} W_1 = 0, \quad (2)$$

где W_1 – количество витков в одной фазе первичной обмотки, шт.;
 $n=0, 1, 2, 3, \dots$

Токи кратных трем гармоник вторичной обмотки равны по величине и имеют одинаковое направление во всех трех фазах в любой момент времени:

$$i_{a(3n+3)} = i_{b(3n+3)} = i_{c(3n+3)}. \quad (3)$$

С учетом направления намотки и маркировки выводов создаваемые ими МДС половин фаз вторичных обмоток и четвертей, расположенных на каждом из стержней магнитопровода, имеют противоположное направление (рисунок 1).

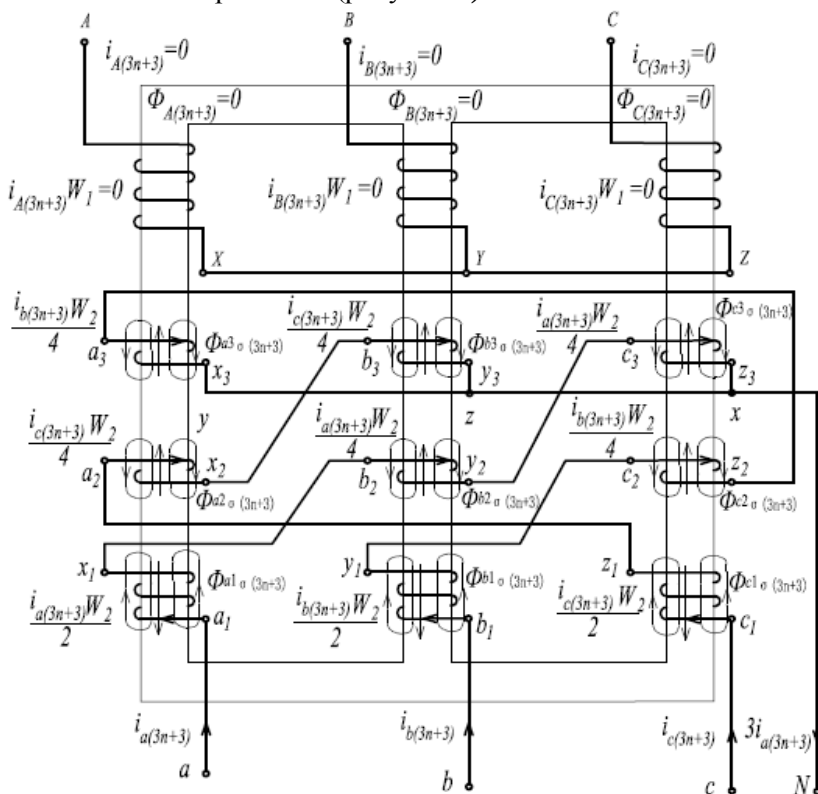


Рисунок 1 - Схема распределения МДС и магнитных потоков высших гармоник, кратных трем, в трансформаторе

Результирующие МДС кратных трех гармоник в стержнях фаз «А», «В», «С» с учетом выражения (3) равны:

$$\begin{aligned} f_{A(3n+3)} &= i_{a(3n+3)} \frac{W_2}{2} - i_{b(3n+3)} \frac{W_2}{4} - i_{c(3n+3)} \frac{W_2}{4} = 0, \\ f_{B(3n+3)} &= i_{b(3n+3)} \frac{W_2}{2} - i_{a(3n+3)} \frac{W_2}{4} - i_{c(3n+3)} \frac{W_2}{4} = 0, \\ f_{C(3n+3)} &= i_{c(3n+3)} \frac{W_2}{2} - i_{a(3n+3)} \frac{W_2}{4} - i_{b(3n+3)} \frac{W_2}{4} = 0, \end{aligned} \quad (4)$$

где W_2 – количество витков в одной фазе вторичной обмотки, шт.

Происходит компенсация МДС кратных трех гармоник, а их магнитные потоки в стержнях магнитопровода будут равны нулю:

$$\Phi_{A(3n+3)} = 0; \Phi_{B(3n+3)} = 0; \Phi_{C(3n+3)} = 0. \quad (5)$$

МДС кратных трех гармоник вторичной обмотки могут создавать только потоки рассеяния

$$\Phi_{a1\sigma(3n+3)}, \Phi_{a2\sigma(3n+3)}, \Phi_{a3\sigma(3n+3)}, \Phi_{b1\sigma(3n+3)}, \Phi_{b2\sigma(3n+3)}, \Phi_{b3\sigma(3n+3)}, \Phi_{c1\sigma(3n+3)}, \Phi_{c2\sigma(3n+3)}, \Phi_{c3\sigma(3n+3)}.$$

Тогда ЭДС кратных трех гармоник обмоток равны нулю:

$$\begin{aligned} e_{A(3n+3)} &= -W_1 \frac{d\Phi_{A(3n+3)}}{dt} = 0; e_{B(3n+3)} = -W_1 \frac{d\Phi_{B(3n+3)}}{dt} = 0; \\ e_{C(3n+3)} &= -W_1 \frac{d\Phi_{C(3n+3)}}{dt} = 0; e_{a(3n+3)} = -W_2 \frac{d\Phi_{A(3n+3)}}{dt} = 0; \\ e_{b(3n+3)} &= -W_2 \frac{d\Phi_{B(3n+3)}}{dt} = 0; e_{c(3n+3)} = -W_2 \frac{d\Phi_{C(3n+3)}}{dt} = 0. \end{aligned} \quad (6)$$

Кратные трех гармоники первичных напряжений, обусловленные нелинейной нагрузкой, равны:

$$\begin{aligned} u_{A(3n+3)} &= -e_{A(3n+3)} = 0; \\ u_{B(3n+3)} &= -e_{B(3n+3)} = 0; \\ u_{C(3n+3)} &= -e_{C(3n+3)} = 0. \end{aligned} \quad (7)$$

Кратные трем гармоники напряжений вторичной обмотки незначительны и обусловлены только падениями напряжений от соответствующих токов на сопротивлениях фаз:

$$\begin{aligned} u_{a(3n+3)} &= -i_{a(3n+3)} Z_{2(3n+3)}; \\ u_{b(3n+3)} &= -i_{b(3n+3)} Z_{2(3n+3)}; \\ u_{c(3n+3)} &= -i_{c(3n+3)} Z_{2(3n+3)}, \end{aligned} \quad (8)$$

где $Z_{2(3n+3)}$ - полные сопротивления фаз вторичной обмотки токам высших гармоник, кратных трем, Ом.

Заключение.

Улучшение формы кривых вторичных напряжений трансформатора происходит вследствие компенсации кратных трем гармоник, а их остаточные значения обусловлены падениями напряжений от соответствующих токов на сопротивлениях фаз вторичной обмотки. При этом трансформатор не будет генерировать высшие гармоники напряжений нулевой последовательности, обусловленные нелинейной нагрузкой, в питающую сеть.

Вторичная обмотка самостоятельно уравнивает свои намагничивающие силы кратных трем гармоник, устраняя процесс дополнительного подмагничивания ими магнитопровода, что уменьшает магнитные потери в трансформаторе и повышает его КПД.

ЛИТЕРАТУРА

1. Трехфазный симметрирующий трансформатор с четной группой соединения обмоток: пат. 16008 Респ. Беларусь, МПК7 Н 01F 30/12 / А.И. Зеленкевич, В.М. Збродыга; заявитель Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет» - № а 20100121; заявл. 2010.02.01; опубл. 30.06.2012 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2012. – № 3. – С. 180-181.

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

ВЛИЯНИЕ СИММЕТРИРУЮЩЕЙ ОБМОТКИ ТРАНСФОРМАТОРА ТМГСУ НА ПАРАМЕТРЫ КОММУТАЦИОННЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ

Ключевые слова: перенапряжение, импульс перенапряжения, симметрирующая обмотка.

Аннотация. В статье рассмотрено влияние симметрирующей обмотки на процессы, происходящие в трансформаторе при коммутации несимметричной нагрузки. Выделены преимущества трансформаторов с симметрирующей обмоткой.

В процессе эксплуатации изоляция трансформаторов испытывает негативное воздействие многочисленных факторов, в результате чего происходит снижение её диэлектрической прочности. Одним из таких факторов являются внутренние перенапряжения, в частности, коммутационные перенапряжения, которые имеют значительные по величине амплитуды, высокую частоту собственных колебаний и значительную первоначальную скорость нарастания импульса.

Данная проблема наиболее характерна для потребителей с пониженным уровнем прочности изоляции, в частности для трансформаторов длительно находящихся в эксплуатации. 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[1,2,3].

При этом не рассматривается вопрос влияния симметрирующей обмотки (получившей широкое распространение в сетях 0,4-10 кВ в трансформаторах ТМГсу) на параметры перенапряжения в обмотке низкого напряжения (обмотка НН) трансформатора.

В статье представлены результаты экспериментальных исследований влияния симметрирующей обмотки на примере трехфазного

трансформатора малой мощности на характер распределения и амплитуду импульсов перенапряжения в обмотках НН.

В экспериментах использована физическая модель трехфазного трансформатора мощностью 0,63 кВА с $K_t=1,73$, количество витков в НВ обмотке – 510, в ВН обмотке - 880, симметрирующая обмотка – 170 витков, обмотка ВН соединена в «звезду», фазные обмотки НН соединены в «звезду с нулем» с возможностью коммутации симметрирующей обмотки. Отпайки для измерения напряжения в НВ обмотке выполнены для всех фаз в следующих витках: 51, 102, 204, 255, 306, 408, 459. Напряжение на первичные обмотки испытываемого трансформатора подается посредством трехфазного автотрансформатора с синусоидальным напряжением. Нагрузкой для вторичной обмотки служат резисторы переменного сопротивления. Регистрация длительности и амплитуд импульсов перенапряжений выполнялась анализатором качества электроэнергии FLUKE 435 одновременно для трех фаз и нейтрали.

Полученные из осциллограмм данные систематизированы и согласованы по виткам для всех фаз обмотки НН трансформаторов.

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

На рисунке 1 приведены сопоставления амплитуд импульсов перенапряжения для трансформаторов ТМГ и ТМГСу при коммутации несимметричной нагрузки.

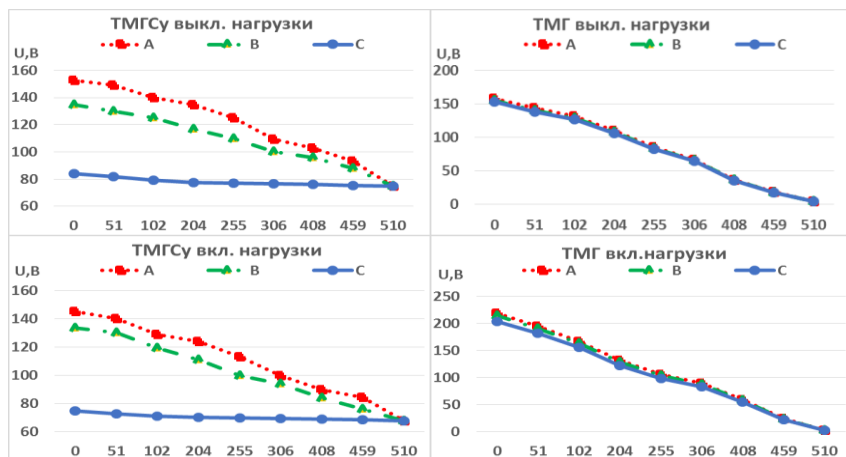


Рисунок 1. Амплитуды импульсов перенапряжений при коммутации несимметричной нагрузки $I_a=I_b=I_n$; $I_c=0$.

На рисунке 2 приведены сопоставления амплитуд импульсов перенапряжения для трансформаторов ТМГСу при включении и выключении нагрузки с несимметрией в 25% и 50% и диаграммы амплитуд импульса перенапряжений для фазы С ($I_n=0,25I_n..I_n$).

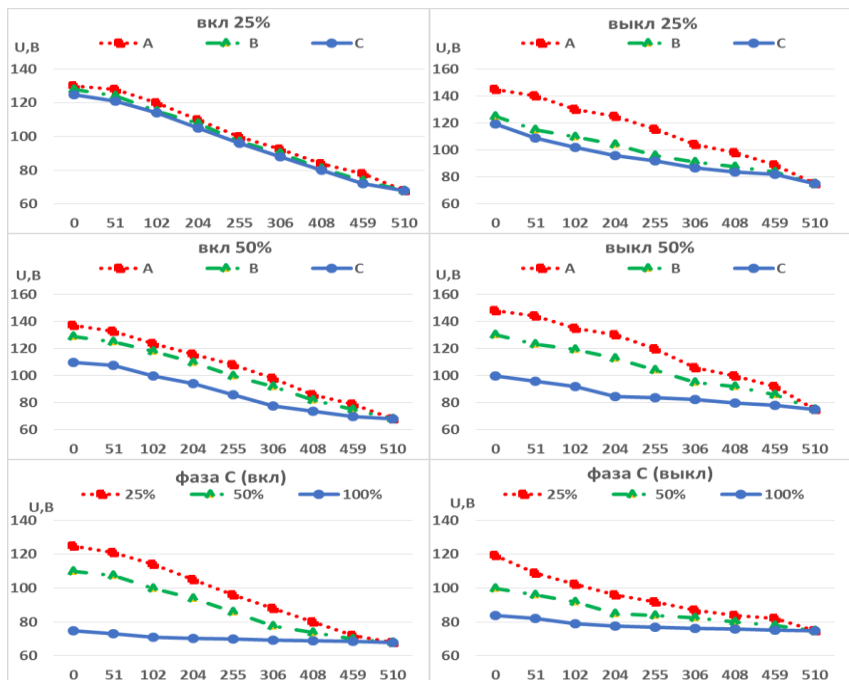


Рисунок 2. Амплитуды импульсов перенапряжений при коммутации несимметричной нагрузки $I_a=I_b=I_n$; $I_n=0,25I_n..I_n$.

Из сопоставления осциллограмм амплитуд импульсов перенапряжений по всей длине обмоток можно отметить следующие принципиальные особенности:

1. При отсутствии симметрирующей обмотки амплитуды импульсов перенапряжений имеют приблизительно одинаковые значения во всех фазах трансформатора в независимости от нагрузки. В трансформаторах с симметрирующим устройством амплитуды импульсов перенапряжений пропорциональны нагрузке фазы.

2. Значения амплитуд импульсов перенапряжений в трансформаторах с симметрирующим устройством значительно ниже и зависят от величины нагрузки на фазу и несимметричности нагрузки на трансформаторе.

3. Для трансформаторов с симметрирующей обмоткой характерно более равномерное распределение напряжения по всей длине обмотки при прохождении переходного процесса, вызванного коммутацией нагрузки.

4. Значения амплитуд импульсов перенапряжений в нулевой точке трансформатора при отсутствии симметрирующей обмотки при коммутации несимметричной нагрузки выше в среднем в 1,7 раза.

ЛИТЕРАТУРА

1. Влияние режима нейтрали и схем включения обмоток силового трансформатора на его импульсные характеристики: Труды КНЦ вып.22 (Энергетика вып.8 3/2014(22))/ Ю.М.Невретдинов, А.В.Бурцев, Г.П.Фастий, КНЦ РАН, 2014, 20с.

2. В. Ф. Важов. Техника высоких напряжений: курс лекций / В. Ф. Важов, В. А. Лавринович. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 112 с.

3. 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 – 224с. – Библиогр.: с. 93–110. – 003069650.

**Радкевич В.Н. к.т.н., доцент, Сталович В.В. магистр техн. наук
Белорусский национальный технический университет, г. Минск**

ПРИМЕНЕНИЕ ОДНОЖИЛЬНЫХ КАБЕЛЕЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ НАПЯЖЕНИЕМ ДО 1 кВ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ АПК

Ключевые слова: линия электропередачи, кабель, броня, заземление, индуктивность, эффект близости, высшие гармоники, напряжение, реактивная мощность, компенсация, нагрев

Аннотация. В работе рассмотрены особенности применения одножильных кабелей в электрических сетях напряжением до 1 кВ производственных объектов АПК. Выявлены основные факторы, снижающие качество напряжения в электрических сетях, выполненных одножильными кабелями. Приведены мероприятия по повышению качества электроэнергии.

Промышленные предприятия АПК (например, заводы по комплексной переработке семян масличных культур, мяса, молока и т.п.) могут иметь производственные объекты, потребляющие большую мощность. Их электроснабжение не всегда возможно осуществлять от собственных трансформаторных подстанций (ТП) напряжением 10(6)/0,4 кВ. Это может быть в тех случаях, когда расчетная нагрузка отдельно расположенного объекта имеет недостаточную величину для того, чтобы предусмотреть установку собственной ТП, а также когда условия производства, окружающей среды или архитектурные требования не позволяют разместить ТП в непосредственной близости от потребителей электроэнергии.

Трехфазные кабельные линии напряжением 0,4 кВ, состоящие из пяти (или четырех) одножильных кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена, применяются, когда технически сложно или экономически не выгодно использовать для линии несколько многожильных кабелей.

В нормативной и технической литературе применению одножильных кабелей в системах электроснабжения (СЭС) напряжением до 1 кВ уделяется недостаточное внимание. Вследствие этого при проектировании СЭС нередко принимаются решения, которые приводят к негативным последствиям в процессе эксплуатации трехфазных линий электропередачи, выполненных одножильными кабелями. Рассмотрим основные причины, которые приводили к низкому качеству напряжения в СЭС реальных производственных объектов.

При протекании переменного тока через большие сечения проводников (95 мм² и более) даже при частоте тока 50 Гц проявляется поверхностный эффект [1], который вызывает увеличение активного сопротивления проводников, что не учитывается при выполнении электрических расчетов.

В трехфазных электрических сетях, выполненных одножильными кабелями, большое значение имеет конструктивное исполнение

линии и расположение кабелей относительно друг друга при прокладке, которое следует принимать в соответствии с [2]. Несимметричное расположение кабелей с большими сечениями токопроводящих жил (ТПЖ) из-за электромагнитных явлений, вызывающих эффекты близости и индуктивного переноса мощности, оказывает влияние на их индуктивные и активные сопротивления [1]. Это в свою очередь может вызвать несимметрию напряжения, подведенного к электроприемникам.

К особо нежелательным последствиям приводит применение в трехфазных сетях переменного тока одножильных кабелей с броней, выполненной из стальных лент. Это связано с тем, что магнитное поле кабеля вызывает токи в стальных лентах, а токи - их нагрев. Изоляция и оболочка кабеля подвергаются нагреву тепловой, выделяемой токопроводящей жилы и стальной броней. Охлаждение кабеля существенно ухудшается, что приводит к увеличению активного сопротивления жилы, потерь мощности, электроэнергии и напряжения. Но главным является то, что индуктивное сопротивление одножильного бронированного кабеля существенно больше, чем небронированного, что увеличивает потерю напряжения и ухудшает качество напряжения, подведенного к электроприемникам. Отметим, что в соответствии с [3] одножильные кабели с ленточной броней из стали предназначены для использования только в сетях постоянного тока, что не всегда учитывается при проектировании СЭС.

Недостаточный уровень компенсации реактивной мощности (РМ) потребителей электроэнергии вызывает увеличение реактивных нагрузок и, как следствие, потерь напряжения, мощности и электроэнергии в электрических сетях. Вопросы компенсации РМ тесно связаны с высшими гармониками тока и напряжения в электрических сетях. Технические средства компенсации РМ должны выбираться в зависимости от их уровня и мощности источника питания.

Наличие высших гармоник сказывается на увеличении индуктивных и активных сопротивлений линии, что может привести к значительному ухудшению качества электрической энергии в электрических сетях, в частности, к отрицательному отклонению напряжения.

Заключение.

Основными факторами, снижающими качество электроснабжения в СЭС с одножильными кабелями реальных объектов, являются применение бронированных стальными лентами кабелей, неправильная раскладка кабелей, недостаточная компенсация реактивной мощности потребителей, наличие в сетях высших гармоник напряжения и тока.

Для обеспечения качества электроэнергии в СЭС с одножильными кабелями необходимо применять небронированные кабели (или с броней из немагнитных материалов) и располагать их в соответствии с рекомендациями [2]. Следует осуществлять компенсацию РМ потребителей и при обосновании предусматривать мероприятия по снижению уровня высших гармоник напряжения и тока в электрических сетях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Основы теории цепей. Учебник для вузов/ Г.В.Зевеке, П.А.Ионкин, А.В.Нетушил, С.В.Страхов. – М.: «Энергия», 1975. – 752 с.
2. РД 34.20.508 Инструкция по эксплуатации силовых кабельных линий. Часть 1. Кабельные линии напряжением до 35 кВ. - Москва: Союзтехэнерго, 1980.-95с
3. ГОСТ 31996-2012. Кабели силовые с пластмассовой изоляцией на номинальное напряжение 0,66; 1 и 3 кВ. Общие технические условия.

**Селюк Ю.Н. ст. преподаватель,
Барайшук С.М. к.ф.-м.н., доцент
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь**

СЕЛЕКТИВНОСТЬ ЗАЩИТЫ В СЕТЯХ ДО 1 кВ И СПОСОБЫ ЕЁ ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Ключевые слова: селективность, автоматические выключатели, выбор аппаратов защиты, устройств защитного отключения, электротравмы

Аннотация: в работе рассмотрены принципы построения многоуровневой защиты от аварийных режимов в электроустановках; различные методы обеспечения селективности автоматических выключателей, в частности временной и зонный; актуальность их изучения при подготовке инженеров-электриков.

Защита электрических распределительных сетей напряжением до 1 кВ от аварийных режимов – комплексная задача, требующая достаточно серьезной проработки. Это связано как с многовариантной конфигурацией электрических сетей, так и с разнообразием возможных аварийных режимов. Наиболее распространенными в настоящее время задачами для внутренних сетей зданий и сооружений различного назначения являются защита от сверхтоков (перегрузок и коротких замыканий), а также от поражения электрическим током (при прикосновении человека к токоведущим или открытым проводящим частям, находящимся под напряжением). Прочие аварийные режимы менее распространены, поэтому защита от них разрабатывается только в отдельных случаях.

Реализация защиты от указанных выше аварийных режимов обеспечивается применением соответствующих электрических аппаратов: автоматических выключателей, устройств защитного отключения (УЗО) либо УЗО с защитой от сверхтоков (дифференциальных автоматических выключателей). Освоение методики выбора данных аппаратов – важный этап подготовки инженеров-электриков в области электробезопасности, поскольку грамотно подобранные защитные аппараты значительно снижают вероятность электропоражений и повышают эффективность защиты электрооборудования и персонала.

При построении внутренних распределительных сетей довольно часто встречаются конфигурации с несколькими уровнями распределения электроэнергии и, как следствие, с несколькими последовательно расположенными аппаратами защиты. В этом случае, помимо прочих условий выбора защитной аппаратуры, одним из главных является требование селективности срабатывания защиты. Под этим термином понимается избирательное действие нескольких последовательно установленных аппаратов защиты, при котором в случае возникновения аварийного режима срабатывает аппарат, ближайший к месту повреждения. При этом происходит отключение только аварийного участка электрической сети, лока-

лизация возможных её повреждений, а также обеспечивается бесперебойная работа неповрежденных частей электроустановки.

Нормативным документом [1] устанавливаются для автоматических выключателей полная либо частичная селективность. Последняя обеспечивается, если ток короткого замыкания превышает предельный ток селективности (он определяется как точка пересечения защитных характеристик аппаратов).

Кроме того, в литературе [2] рассматриваются различные методы обеспечения селективности автоматических выключателей: токовый, временной, энергетический, зонный. Первый из перечисленных методов основан на использовании выключателей с различными уставками по току срабатывания при коротких замыканиях. Второй метод предусматривает введение дополнительно преднамеренной задержки времени срабатывания автоматических выключателей, причём токи и время срабатывания повышаются по мере удаления аппарата от нагрузки (потребителя).

Энергетическая селективность основывается на токоограничивающих характеристиках автоматических выключателей, имеющих весьма высокое быстродействие в условиях короткого замыкания. Для данной разновидности защитных аппаратов характер срабатывания обусловлен не только величиной возникающего тока, но и типоразмером автоматического выключателя. Значение предельного тока селективности определяется по таблицам энергетической селективности, предоставляемым производителем аппаратов.

Развитием метода временной селективности является зонная, которая реализуется организацией взаимодействия между токоизмерительными устройствами автоматических выключателей по информационному кабелю. В случае обнаружения сверхтока от каждого автоматического выключателя по указанному кабелю поступает сигнал (так называемый сигнал блокировки) на более высокий уровень защиты (аппараты, расположенные ближе к источнику питания). Одновременно выполняется проверка отсутствия аналогичного сигнала с более низкого уровня защиты. Если сигнал поступил, данный защитный аппарат не срабатывает, так как место короткого замыкания находится ближе к нагрузке, то есть в зоне нижнего иерархического уровня. В случае отсутствия сигнала блокировки короткое замыкание возникло в зоне, соответствующей рассматриваемому автоматическому выключателю, что требует его срабатывания.

В настоящее время в известных источниках селективность защитных аппаратов изучена недостаточно [1-3]. В частности, отсутствуют чёткие критерии применения различных видов селективности при выборе аппаратов защиты электрических сетей. Поэтому достаточно высока вероятность ошибочного выбора защитного электрооборудования, что, в свою очередь, снижает эффективность локализации аварийных режимов, увеличивает затраты на устройства защиты и ликвидацию последствий нештатных ситуаций. Разработка указанных критериев требует проведения серьёзной аналитической и исследовательской работы, чтобы обеспечить высокую достоверность полученных рекомендаций. Нами были выполнены предварительные исследования обоснованности применения различных методов селективности защиты на примере электрических сетей различной конфигурации. В процессе исследований учитывался подход, изложенный в [3] для определения зоны защиты используемых аппаратов как одного из критериев обоснованности и эффективности исследуемого метода обеспечения селективности.

Следует отметить, что обоснованность выбора метода селективности электросетей – комплексный показатель, характеризуемый несколькими критериями. Кроме указанного, нами были рассмотрены критерии времени либо тока, надёжности срабатывания, а также относительной стоимости аппарата защиты. Перечисленные критерии описываются разнородными и неоднозначными данными, что требует их некоторой интерпретации и систематизации. Формирование на основе приведенных критериев обобщённого показателя проводилось способом построения обобщённой функции желательности выбора метода (вида) селективности. Сущность данного способа подробно изложена в [4].

Развитие аппаратов защиты в данном направлении требует дальнейших исследований, и численного моделирования процессов, что должно позволить сформулировать рекомендации по выбору метода селективности аппаратов защиты для распределительных сетей напряжением до 1 кВ. Разработанные рекомендации могут быть использованы как на практике, так и при изучении студентами специальных дисциплин, в частности «Электробезопасность», а также в ходе курсового и дипломного проектирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ ИЕС 60947-2-2014. Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 2. Автоматические выключатели [Текст]. – Введ. 2016-01-01. – М.: Стандартинформ, 2010. – 49 с.

2. Емельянов, А.И. Селективность и координация систем защиты в сетях электроснабжения низкого напряжения [Текст]// Главный энергетик. – 2015. - № 7. – с. 12 – 19.

3. Крысенко, А., Лосенков, Д. Выполнение некоторых требований ТКП 339-2011 при проектировании электроустановок [Текст]// Промышленная безопасность и охрана труда. Практикум. – 2013. - № 4. – с. 33 – 39.

4. Ахназарова, С.Л. Оптимизация эксперимента в химии и химической технологии [Текст]/ С. Л. Ахназарова, В. В. Кафаров. – М.: Высшая школа, 1978. – 319 с.

Сыч А.Д., Кулаковский Д.А., Елифанов В.И., Климович М.Р.
УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь

СОВРЕМЕННАЯ ЗАЩИТА ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПРИ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЯХ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Ключевые слова: повышенное и пониженное напряжение, реле, защита.

Аннотация. В статье рассмотрен вопрос применения реле напряжения у потребителей, при различных аварийных ситуациях в питающих линиях электропередачи.

В настоящее время повсеместно эксплуатируется дорогостоящая техника, в быту и на производстве, которая чувствительна к качеству электроэнергии. Особенно важным фактором является величина питающего напряжения. Если напряжение выходит за рамки допустимого предела, будь то в большую или меньшую сторону, оборудование выходит из строя.

Обрыв нулевого проводника в электрической сети, до потребителей, может привести к перекосу фаз, вследствие чего, однофазные потребители будут получать из сети уже не фазное, а линейное напряжение. Обрыв нулевого провода может быть на питающей подстанции, в этажном щите многоквартирных домов, либо в воздушной сети 0,4кВ с не изолированными проводами в результате различных ситуаций.

Пониженное напряжение в питающей сети может быть вызвано также различными причинами: долговременный запуск электродвигателя крупного вентилятора, компрессора либо использование другими потребителями в неустановленном порядке однофазных сварочных аппаратов трансформаторного типа. К пониженному напряжению особенно чувствительна техника с асинхронными двигателями с большим пусковым моментом: холодильное оборудование, компрессоры, кондиционеры и т.д.

Для защиты от данных аварийных ситуаций мы предлагаем использовать в качестве защиты реле напряжения.

Реле напряжения – это прибор, представляющий собой совокупность электронного устройства контроля напряжения и силовой части разъединителя нагрузки, собранные в одном корпусе.

«Сердце» реле напряжения может быть изготовлено на базе микропроцессора или простого компаратора. При этом микропроцессорные реле напряжения отличаются более плавной регулировкой верхнего и нижнего порога срабатывания.

Главным параметром реле напряжения является быстродействие. При этом время срабатывания некоторых реле составляет всего лишь десятки наносекунд.

В отличие от стабилизатора напряжения реле напряжения не выравнивает напряжение в сети, а только мгновенно отключает защищаемый участок при повышении или понижении напряжения и автоматически включает его при стабилизации напряжения в сети. Поэтому оно весьма эффективно при аварийных ситуациях, которые возникают в результате обрыва нейтрали, перегрузки, перекоса фаз и т.п.

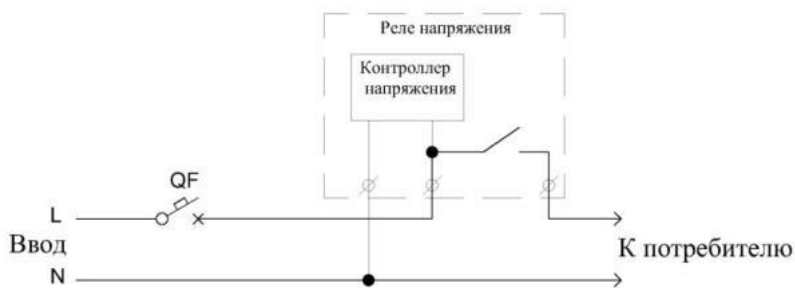


Рис.1 Схема подключения реле напряжения

ЛИТЕРАТУРА

1. Лещинская Т.Б., Наумов И.В. Электроснабжение сельского хозяйства: учебник / Т.Б. Лещинская, И.В. Наумов. – М.: БИБКОВ, ТРАНСЛОГ, 2015 – 656 с.

Фурсанов М.И., д.т.н., профессор, Старжинский В.П., д.ф.н., профессор, Фарино А.А., м.т.н., аспирант
УО «Белорусский национальный технический университет», Минск, РБ

АНТИГОЛОЛЁДНОЕ УЛЬТРАЗВУКОВОЕ УСТРОЙСТВО НА ПРОВОДАХ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ – ЗАЛОГ НАДЁЖНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

За последние пятнадцать лет гололёд на высоковольтных линиях стал возникать всё чаще и чаще. Это достаточно опасное явление. В результате налипшего льда масса проводов увеличивается в несколько раз, что при сильных порывах ветра зачастую приводит к обрыву проводов, поломке траверс и опор.



Рис. 1. Образовавшийся гололёд на проводах ВЛ



Рис. 2. Разрушенная опора ВЛ под воздействием гололёда.

К опасным регионам с точки зрения образования гололёда на проводах ВЛ относят Дальний Восток, Запад, Северо-Запад России, Поволжье, Северный Кавказ, а также районы Средней полосы и Юга России, территорию Беларуси и ряд Северных и Центральны стран Европы, где образование гололёда считалось раньше маловероятным.

Участившиеся гололёдные аварии на ЛЭП связаны с общим потеплением климата и влекут за собой немало сил и средств на их

Римскими цифрами показаны границы укрупненных устройств подстанций и ЛЭП, которые обеспечивают одновременную работу канала ВЧ-связи и канала УЗ-ликвидации гололёда на ЛЭП:

I – шины подстанции 1 (П1), II – шины подстанции 2 (П2), III – аппаратура управления и обработки (уплотнения) информации, IV – аппаратура присоединения П1, V – аппаратура присоединения П2, VI – линейный тракт ЛЭП, VII – колебательный контур УЗ-волн.

Использование данного антигололёдного УЗ-устройства на проводах ВЛ позволит предотвратить аварийные отключения участков ЛЭП, уменьшить потери активной мощности на электропередаче и более экономично расходовать топливо на электростанции.

Описанное устройство запатентовано как полезная модель под № 11388 от 15. 02. 2017 года.

ЛИТЕРАТУРА

1. Глухов В.Г. Метеорологические условия образования гололёда на высотных сооружениях. – Л.: Гидрометеиздат, 1972. – 100 с.
2. Дьяков А.Ф. Опыт борьбы с гололёдом на линиях электропередачи. Электрические станции. 1982. – № 1. – С. 50–54.
3. Каганов В. И. Борьба с гололёдом в линиях электропередачи с помощью высокочастотной электромагнитной волны // Электро. – 2010. – № 5. – С. 41–45.
4. Устройство ультразвуковой ликвидации гололёдно-изморозевых образований на проводах воздушных линий электропередач : пат.11388 Респ. Беларусь : МПК H02G7/16 (2016) / А.А. Фарино; дата публ.: 30.06.2017.

Усов Г.Г., Кожарнович Г.И., Сакович Е.А.
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь

ЭКСПЛУАТАЦИЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ В СЕЛЬСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Одна из наиболее многочисленную группу из всех элементов в Белорусской энергосистеме составляют силовые трансформаторы напряжением до 10 кВ. Однако надёжность указанных силовых

трансформаторов достигается только при соблюдении всех норм правильной организации работ. Проведение проверок и ремонтов устанавливается независимо от фактического состояния. Осмотр не реже одного раза в шесть месяцев, а испытание необходимо проводить через четыре года после ввода в эксплуатацию и далее один раз в двенадцать лет.

Периодически различными службами проводится статистический анализ причин повреждения силовых трансформаторов в энергосистемах, позволяющий выявлять наиболее часто повторяющиеся повреждения узлов, деталей, элементов в зависимости от типа и сроков эксплуатации. Поэтому крайне важно определить пути, обеспечивающие дальнейший рост показателей надежности масляных трансформаторов с высшим напряжением 10 кВ мощностью до 630 кВА. Установлено, что подавляющее число отказов происходит из-за увлажнения трансформаторного масла и твердой изоляции трансформаторов (контроль качества трансформаторного масла из силовых трансформаторов мощностью до 630 кВА не проводится) [1]. Витковые короткие замыкания, пробой между фазами и различные сочетания этих повреждений наблюдаются у 5-7%. Причем во многих причины отказов общие [2].

Между изоляцией трансформатора и средой всегда существует тепло- влагообмен. Поэтому влажность, температура и время воздействия на изоляцию – одна из основных причин, по которой снижается качество изоляции трансформаторов в сельских электрических сетях. С увеличением продолжительности эксплуатации снижается надежность их работы, а решение о возможности продолжения дальнейшей эксплуатации может быть обеспечена совершенствованием методов эксплуатации.

Для предохранения масла и твердой изоляции от прямого попадания влаги используются влагопоглотительные патроны, воздухоосушители, термосифонные фильтры, заполненные в большинстве различными сорбентами. Как отмечает Ермолаев С.А. «Защита трансформаторного масла от увлажнения», ориентировочный срок службы трансформаторного масла, гарантируемый его изготовителем, составляет 6-8 лет, а в условиях сельского хозяйства для масел без присадок этот срок может, сокращается до 2-3 лет. Частая смена масла в трансформаторах или его регенерация влечет за собой неоправданно высокие эксплуатационные расходы и значительные средства, на демонтаж существующего, монтаж приобретенного нового трансформатора.

Проведенный контроль и диагностика указывает причины ухудшение состояния трансформаторов по сравнению с заводскими паспортными данными, а это ранее перечисленные, а также неудовлетворительная эксплуатация и ряд других причин, при которых параметры некоторых трансформаторов в электрических сетях ухудшаются.

Учитывая возрастающее число увлажненных в эксплуатации трансформаторов [3] весьма актуальна разработка методов восстановления и стабилизации изоляционных характеристик с минимальными затратами и сроками вывода трансформатора в ремонт.

Чтобы обеспечить продолжение эксплуатацию трансформаторов, у которых происходит систематическое ухудшение состояния изоляции и для восстановления диэлектрических свойств переувлажненных электроизоляционных материалов предлагается комбинированный влагопоглотитель.

Обеспечивая повышения эффективной защиты масла и отбора влаги с изоляции трансформатора целесообразно использовать более активный цеолит и силикагелей с присадками каустической щелочи (едкого натра, едкого калия и т.д.). Регенерация трансформаторного масла без слива его из трансформатора ведется, путем фильтрации через слой силикагеля и цеолита который брали по предварительным расчетам в зависимости от влажности 7:2, а щелочь составляла 6-7% от веса комбинированного влагопоглотителя. Цеолит способен поглощать в 1,5-2 раза больше влаги, чем силикагель.

Перезаряженное устройство (воздухоосушитель, термосифонный фильтр) с комбинированным адсорбентом позволяет регулировать и восстанавливать в эксплуатации трансформаторное масла, влагосодержание твердой изоляции и увеличивает срок эксплуатации трансформатора.

Несмотря на удобства и простату данного метода регенерации, эффективность его не всегда достаточно высока. При низкой температуре высокая вязкость масла препятствует отделению воды и примесей.

Циркуляция масла через влагопоглотитель основана на конвекции за счет разности температур верхнего и нижнего слоя масла. С увеличением токовой нагрузки интенсивность выделения влаги из обмоток в масло ускоряется и интенсивнее циркулирует масла, тем самым уменьшаются сроки восстановления изоляции. Более интенсивно эти процессы могут происходить при принудительной

циркуляцией масла, а для успешного завершения регенерации требуется разогрев масла.

Учитывая сезонность загрузки трансформатора в сельских сетях этого рабочего цикла вполне достаточно для регенерации влагосодержания в трансформаторе в допустимых пределах в наиболее тяжелые периоды работы.

Для повышения эффективной защиты масла и отбора влаги с изоляции трансформатора можно использовать различные влагопоглотители в различных пропорциях с различными присадками. Осадки, шлам (продукты старения) фильтруются через пористую среду.

Вывод

Чтобы стимулировать решение в области повышения энергоэффективности в ближайшее время необходимо решить научные и технические проблемы повышения эффективной защиты масла и отбора влаги с изоляции трансформатора. Обнаруженный дефект устраняется непосредственно на месте, а предложенный метод не требует дополнительных устройств и нестандартного оборудования может быть рекомендован во всех случаях ухудшения параметров изоляции маслонаполненного электрооборудования в эксплуатации. Поэтому разработка способов защиты от увлажнения – проблема не только техническая, но и экономическая.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нормы и объем испытания электрооборудования. Белорусской энергосистемы. Минск, 2000.
2. Сердешнов А.П., Усов Г.Г. Сушка твердой изоляции трансформаторов комбинированным методом // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве. Труды 4-й Международной научно-технической конференции. Москва.
3. Усов Г.Г. Обеспечение надежности эксплуатации силовых масляных трансформаторов в сельских распределительных сетях // Аграрная энергетика в XXI-м столетии. Материалы III-й Международной научно-технической конференции. Минск.
4. Энергоснабжение-важнейшее условие инновационного развития АПК. Сборник научных статей Международной научно-технической конференции. Белорусского государственного аграрного технического университета 26-27 ноября 2015г. Минск

**Янукович Г.И., к.т.н., профессор, Королевич Н.Г., к.э.н.,
Тюнина Е.А., ст. преподаватель
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь**

СИММЕТРИРОВАНИЕ НАГРУЗКИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Ключевые слова: качество электрической энергии, напряжение, электрические сети, трансформаторы, симметрирующие устройства.

Аннотация. В статье показано качество электрической энергии в сельских электрических сетях и некоторые способы его повышения. Приведены рекомендации кафедры электроснабжения БГАТУ по симметрированию нагрузки, способствующей улучшению качества напряжения.

Качество электрической энергии по многим показателям зависит от характера нагрузки. В сельских электрических сетях основными показателями являются несимметрия напряжений, отклонения напряжений, несинусоидальность напряжений.

В 1972 году исследованием несимметрии напряжений в Беларуси занимался ЦНИИМЭСХ. Исследования показали, что 33% всех отклонений напряжения за летние сутки и 53% за зимние сутки выходило за допустимые в то время пределы $\pm 7,5\%$. Только в 20% измерений коэффициент несимметрии не превышал величины 5%, нормируемый в то время для электродвигателей.

В 80-х годах исследования качества напряжения проводились также и кафедрой электроснабжения БГАТУ [1]. Анализу были подвергнуты графики напряжений, снятые в зимнее время в Минской, Гомельской, Гродненской и Могилевской областях. Они показали, что отклонения напряжения от номинального нередко значительно превышают допустимые пределы. Так, например, максимальные значения их достигали в начале линии $+11,4\%$ и $-4,8\%$, а в конце линии $+8,3\%$ и $-18,2\%$, что безусловно недопустимо. Как видно, в сельских электрических сетях республики имеет место несимметрия напряжений. Коэффициент несимметрии по

обратной последовательности K_{2U} составил 4 %, а коэффициент несимметрии по нулевой последовательности K_{0U} около 8 %.

В 2007 году с использованием новейших приборов было проведено качество напряжения в электрических сетях ряда регионов республики. Исследования показали, что при загрузке трансформаторов менее 50 % установленных в жилом секторе, коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности в течение суток изменялся от 0,7 до 1,1. Коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности – от 0,9 до 2,1.

При загрузке трансформаторов более 50 %, установленных в коммунально-бытовом секторе, коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности составил 2,1%, коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности – 5,8. В производственном секторе значение этих коэффициентов оказались несколько ниже [2].

Снизить несимметрию напряжений в распределительных сетях можно рациональным распределением однофазных нагрузок между фазами, чтобы сопротивления этих нагрузок в фазах были равны между собой. Для этой цели разработан ряд симметрирующих устройств, автоматически перераспределяющих нагрузки по фазам. Однако они практического применения в условиях сельских электрических сетей не нашли по причине их сложности, малой мощности однофазных сельскохозяйственных электроприемников, а также из-за снижения надежности электроснабжения однофазных потребителей при применении этих устройств.

Способностью симметризовать напряжение, обладают трансформаторы с некоторыми схемами соединения обмоток («звезда–зигзаг–нуль», «звезда–звезда–нуль–разомкнутый треугольник», «звезда–звезда–нуль с симметрирующим устройством» и др.).

В 2010 г. кафедрой электроснабжения БГАТУ было предложено новое симметрирующее устройство [3], позволяющее путем перераспределения токов нагрузки в фазных проводах при несимметричной нагрузке фаз повышать качество напряжения в трехфазной четырехпроводной сети. Оно содержит магнитопровод и расположенные на нем три обмотки, начала которых подключены к источнику питания, а концы – к линиям электропередачи с несимметричной нагрузкой. Каждая обмотка выполнена с одинаковым числом витков и включена в рассечку соответствующего фазного провода источника питания.

Так как коэффициент трансформации устройства равен единице, то большие значения токов в некоторых фазах будут трансформироваться в другие фазы, где ток меньший. Это приводит к перераспределению токов по фазам, и происходит их взаимное выравнивание независимо от величины нагрузки. Последнее приводит к симметрированию напряжения при несимметричной нагрузке фаз.

Вместо двухстержневого магнитопровода может быть использован трехстержневой магнитопровод, изображенный на рисунке.

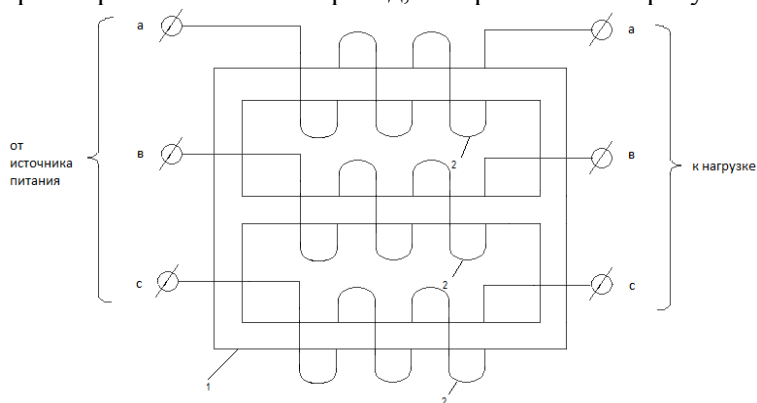


Рис. 2. Устройство для симметрирования нагрузки на базе трехстержневого магнитопровода: 1 – магнитопровод; 2 – обмотка

На каждом стержне намотано по одной обмотке. Принцип действия такой же, как описано выше. На кафедре изготовлены установки и планируются провести экспериментальные исследования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Янукович Г.И. Пути улучшения показателей несимметрии и не-синусоидальности напряжения в сельскохозяйственных установках: монография. - Минск: БГАТУ, 2013.
2. Янукович Г.И., Тюнина Е.А., Збродыга В.А., Королевич Н.Г. О несимметрии напряжений в сельских электрических. Энергосбережение – важнейшее условие инновационного развития АПК. Сборник научных статей Международной научно-практической конференции (Минск, 26-27 ноября 2015 года. Минск, БГАТУ, 2015.
3. Янукович Г.И., Королевич Н.Г., Селицкая О.Ю., Збродыга В.А. Устройство для симметрирования напряжения при несимметричной нагрузке фаз. Патент на изобретение №16121, РБ, 27.09.2010.

СЕКЦИЯ 2 НЕТРАДИЦИОННЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ В АПК

Азизова Г.А., бакалавр, Исаев С.М., к.т.н., доцент,
Садыков Ж.Д., ст. преподаватель,
«Каршинский государственный университет», г. Карши,
Узбекистан

АККУМУЛЯТОР ТЕПЛА ДЛЯ ГЕЛИОТЕПЛИЦ-СУШИЛОК

Ключевые слова: Аккумулятор тепла, гелиотеплица.

Аннотация: Разработана математическая модель водяного аккумулятора тепла.

В последние годы у нас в стране и за рубежом проявляют особый интерес к внедрению в производство тепличных хозяйств разработанных и рекомендуемых конструкций гелиотеплиц с использованием солнечной энергии для выращивания овощей и фруктов.

В технологическом отношении водяной аккумулятор тепла являясь объектом управления выполняет процесс нагрева или охлаждения воздуха в определенных пределах. Наиболее важным вопросом при разработке математической модели данного звена является установление адекватного набора переменных, т.е. переменных, достаточно полно описывающих анализируемый процесс.

Уравнение процесса передачи теплоты от воздуха к жидкости т.е., при зарядке аккумулятора имеет вид[1]:

$$V_T C_B \rho_B \frac{d\Delta\theta_{01}^B}{dt} = C_B L_B \Delta\theta_0^B - \alpha_{TP} F_T (\Delta\theta_0^B - \Delta\theta^{\text{ж}}) - C_B L_B \Delta\theta_{01}^B; \quad (1)$$

Уравнение процесса передачи теплоты от жидкости к воздуху т.е. при разрядке аккумулятора имеет вид:

$$V_T C_B \rho_B \frac{d\Delta\theta_{01}^B}{dt} = -C_B L_B \Delta\theta_0^B + \alpha_{TP} F_T (\Delta\theta^{\text{ж}} - \Delta\theta_0^B) - C_B L_B \Delta\theta_{01}^B; \quad (2)$$

Уравнение накопления теплоты массой элементов конструкций аккумулятора и жидкости при изменении температуры воздуха на входе запишется в виде:

$$(m_{\text{ж}}C_{\text{ж}} + m_{\text{М}}C_{\text{М}})\frac{d\Delta\theta^{\text{ж}}}{dt} = K_T F_T (\Delta\theta_0^B - \Delta\theta^{\text{ж}}); \quad (3)$$

где V - объем труб аккумулятора; ρ_B - плотность воздуха; C_B - удельная теплоемкость воздуха; L_B - расход воздуха; $\Delta\theta^{\text{ж}}$ - приращение средней температуры воды; α_T - коэффициент теплоотдачи; F_T - площадь поверхности трубы участвующий в теплообмене; F_T - коэффициент теплопередачи трубы; $m_{\text{ж}}$ - масса жидкости (воды) в аккумуляторе; $C_{\text{ж}}$ - удельная теплоемкость жидкости; $m_{\text{М}}$ - масса элементов конструкции аккумулятора; $C_{\text{М}}$ - удельная теплоемкость металла (стали);

Уравнения (1) и (2) можно объединить в одно, т.е.

$$V_T C_B \rho_B \frac{d\Delta\theta_{01}^B}{dt} = \pm [C_B L_B \mp \alpha_T F_T] \Delta\theta_0^B + \alpha_T F_T \Delta\theta^{\text{ж}}; \quad (4)$$

где верхние знаки относятся к процессу зарядки аккумулятора, а нижние к процессу разрядки аккумулятора.

Выполняя соответствующие преобразования уравнений (3) и (4) приводим их к стандартному виду:

$$T_3 \frac{d\Delta\theta_{01}^B}{dt} + \Delta\theta_0^B = \pm K_{31} (K'_{31}) \Delta\theta_0^B + K_{32} \Delta\theta^{\text{ж}}; \quad (5)$$

$$T_4 \frac{d\Delta\theta^{\text{ж}}}{dt} + \Delta\theta^{\text{ж}} = \Delta\theta_0^B; \quad (6)$$

где $T_3 = \frac{V_T C_B \rho_B}{C_B L_B} = \frac{V_T \rho_B}{L_B}; \quad K_{31} = 1 - \frac{\alpha_T F_T}{C_B L_B}; \quad K_{32} = \frac{\alpha_T F_T}{C_B L_B}; \quad K'_{31} = 1 + \frac{\alpha_T F_T}{C_B L_B};$
 $T_4 = \frac{m_{\text{ж}} C_{\text{ж}} + m_{\text{М}} C_{\text{М}}}{K_T F_T};$

В уравнение (5) знак «+» относится к коэффициенту K_{31} (процесс зарядки) и знак «-» к коэффициенту K'_{31} (процесс разрядки) и соответственно в период зарядки, уравнение (5) решается перед пе-

ременным $\Delta\theta_0^B$ с коэффициентом K_{31} в период разрядки с коэффициентом - K_{31}' .

Совместно решая уравнения (5) и (6) можно легко установить уравнения связей в динамике при изменениях входной величины θ_0^B , в изменении выходной величины θ_{01}^B , изменении температуры воздуха на входе-изменении температуры жидкости (воды) на выходе (6), и изменении температуры жидкости (воды) на входе-изменение температуры воздуха на выходе (6), и изменении температуры жидкости (воды) на входе - изменении температуры воздуха на выходе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хайридинов Б.Э., Исаев С.М., Аширбаев М.У. Математическая модель блочной гелиотеплицы-сушилки с подпочвенным аккумулятором тепла. // Гелиотехника. 1990. №5. 80-83 с.

**Азизова Г.А., бакалавр., Садыков Ж.Д., ст. преподаватель,
Мурадов И., к.т.н.
«Каршинский государственный университет», г. Карши,
Узбекистан**

ПАССИВНАЯ СИСТЕМА СОЛНЕЧНОГО ОТОПЛЕНИЯ ДЛЯ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

Ключевые слова: Солнечная энергия, пассивная солнечная система.

Аннотация: Предложены способы по энергосбережению в сельскохозяйственных зданиях.

Солнечная энергия – это практически неиссякаемый, неистощимый и экологически чистый источник энергии.

Одно из важнейших условий эффективности работы пассивной системы солнечного отопления заключается в правильном выборе местоположения и ориентации здания на основе критерия максимального поступления и улавливания солнечного излучения в зимние месяцы.

Прямое улавливание солнечной энергии может эффективно осуществляться при соблюдении следующих условий:

1) оптимальная ориентация зданий; 2) на южной стороне 50-70% всех окон, а на северной - не более 10%, причем южные и северные окна должны иметь двухслойное остекление; 3) здание должно иметь улучшенную тепловую изоляцию и низкие теплопотери вследствие инфильтрации наружного воздуха; 4) должна быть обеспечена достаточная теплоаккумулирующая способность внутренних стен и пола для поглощения и аккумулирования теплоты солнечной энергии; 5) для предотвращения перегрева помещений в летний период над окнами должны быть предусмотрены навесы, козырьки и т. п.

КПД такой системы отопления, как правило составляет 25-30%, но в особо благоприятных климатических условиях может быть значительно выше и достигать 60 %. Пассивные системы имеют такой же срок службы, как и само здание. Наряду с получением теплоты эти системы также обеспечивают эффективное использование дневного освещения, благодаря чему снижается потребление электроэнергии.

Одним из наиболее часто встречающихся недостатков конструкции коллекторно-аккумулирующей стенки в проектируемых сооружениях с солнечным теплоснабжением является использование стенки малой аккумулирующей способности при большом ее термическом сопротивлении. Следствием этого становится значительное повышение температуры наружной поверхности стенки, ведущее к увеличению тепловых потерь через остекление [1,4,5].

Если рассматривать влияние на систему изменения толщины и теплопроводности коллекторно-аккумулирующей стенки, то следуя электротепловой аналогии и учитывая, что принятая методика относится к квазистационарному приближению с использованием величин осредненных за месяц, количество тепла, прошедшее через коллекторно-аккумулирующей стенки, можно определить посредством простого уравнения теплового баланса.

$$Q = \bar{k}_2(T_3 - T_2) + \alpha_1(T_3 - T_1) \bar{\Delta \tau} \quad (1)$$

$$\alpha_\Sigma = 1/(1/\alpha_2 + \delta/\lambda) \quad (2)$$

где: Q -тепло поглощенное наружной поверхностью коллекторно-аккумулирующей стенки; T_1 -температура окружающей здание среды; T_2 -температура внутри помещения; T_3 -температура наружной поверхности коллекторно-аккумулирующей стенки;

α , -коэффициент теплопередачи от внутренней поверхности коллекторно-аккумулирующей стенки к воздуху в помещении; δ, λ -толщина и коэффициент теплопроводности стенки. Из уравнений (2) следует, что эффективность стенки будет возрастать при увеличений α , уменьшений α_1 и T_3 . α будет увеличиваться с увеличением α , и при уменьшении δ/λ . На основе этого провели анализ эффективности отопления сооружений с коллекторно-аккумулирующей стенкой из материала с различной теплопроводностью, но с одинаковой плотностью и теплоемкостью. В этом случае для соблюдения подобия или условия одинакового запаздывания тепловой волны, чтобы максимум повышения температуры внутренней поверхности коллекторно-аккумулирующей стенке приходился на определенное время суток, необходимо соблюдать равенство безразмерного времени или критерия Фурье. Это требование относится к долгосрочным осредненным значениям при изменении температуры в стенке в течении суток.

В табл. 1 представлены расчетные результаты температур по толщине стенки при различных расходах воздуха, выполненные на основе [2,3].

№	Расход воздуха кг $\frac{м^3}{час}$	Температура воздуха t, °C	Расположение термопары (мм): Расчетная температура по толщине стенки (t, °C).					
			4,25	11,7	18,8	26,25	34,4	41,6
1	103,5	23,8	101,6	92,8	84,5	75,5	60,7	45,2
2	148,0	22,8	88,1	80,1	75,2	68,0	56,0	42,7
3	186,5	22,5	79,3	69,4	66,8	63,5	53,6	41,3

В заключение можно сделать вывод, что, оказывается, выгодно использовать для коллекторно-аккумулирующей стенки более теплопроводный материал. В этом случае уменьшается внешний коэффициент теплопередачи и средняя температура наружной поверхности стенки, что снижает потери в окружающую среду.

Вентиляция позволяет поддерживать оптимальный уровень комфорта и влажности в помещении. Для сокращения потребления энергии, расходуемой на отопление и вентиляции, необходимо целенаправленно расширять проектирование и возведение сельскохозяйственных зданий не только с качественной тепловой

изоляции строительных конструкций, но и системами пассивного солнечного отопления с коллекторно-аккумулирующей стенкой.

В перспективе обогрев сельскохозяйственных зданий органическое топливо может быть заменено нетрадиционными возобновляемыми источниками энергии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авезова Н.Р., Садыков Ж.Д. //Гелиотехника. 2012. №1. С.47-53.
2. Васильев Л.Л., Фрайман Ю.Е. Теплофизические свойства плоских проводников тепла.- Минск: Наука и техника, 1967. – 176с.
3. Даффи Дж.А., Бекман У.А. Тепловые процессы с использованием солнечной энергии.-М.: Мир. 1977.-420с.
4. Садыков Ж.Д., Ким В.Д., Садыков Ж.Ж. //Гелиотехника. 2003. №3. С. 57-61.
5. Чакалев К.Н, Садыков Ж.Д. //Гелиотехника. 1992. №4. С. 54-56.

**Арабей С.М., д. ф.-м. н, доцент,
Станишевский И.В., к.ф.-м. н., доцент
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь
Павич Т.А., к. х.еских наук
Институт физики им. Б.И.Степанова НАН Беларуси, Минск**

СВЕТОТРАНСФОРМИРУЮЩИЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ ЕВРОПИЕВОГО КОМПЛЕКСА В СИЛИКАТНОМ ЗОЛЬ- ГЕЛЕ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФОТОВОЛЬТАИЧЕСКИХ ЯЧЕЕК

Ключевые слова: солнечные элементы, европиевый комплекс, силикатная нанопористая гель-пленка

Аннотация: Золь-гель методом синтезирована винилтриэтоксисилановая пленка, допированная европиевым комплексом. Материал может быть использован для улучшения эффективности работы фотовольтаических ячеек в УФ области спектра.

Существующие в настоящее время в виде промышленных изделий и лабораторных образцов полупроводниковые фотовольтаические элементы не способны эффективно преобразовывать все фотоны с энерги-

ей выше энергии запрещенной зоны, т.е. не способны к сбору квантов света всех длин волн, присутствующих в солнечном спектре, что уменьшает эффективность конверсии солнечной энергии в электрическую [1]. В частности, солнечный свет в области 300-500 нм, включающий 18,5% падающей солнечной мощности (или 9,4% фотонов), в кремниевых фотовольтаических ячейках используется неэффективно. В этой связи, один из путей увеличения эффективности работы ячейки может быть основан на механизме конверсии фотонов УФ света в свет видимого или ближнего ИК диапазона. Таким образом, преобразование высокоэнергетических фотонов в фотоны, энергия которых близка к энергии запрещенной зоны, является главной стратегией улучшения эффективности работы фотовольтаических ячеек [2].

Идеальный светотрансформирующий материал для подобных целей должен иметь широкий спектр поглощения с высоким молярным коэффициентом экстинкции, квантовый выход люминесценции близкий к единице, большой Stokes' shift максимумов полос поглощения и излучения (для минимизации реабсорбции), а также иметь высокую свето- и термостойкость. Этим требованиям в большей степени удовлетворяют комплексы редкоземельных элементов – лантанидов (Ln), в которых проявляется антенный эффект [3], когда органические лиганды комплексов поглощают УФ свет и передают энергию на ион Ln^{3+} , излучающий фотоны с длинами волн, подходящими для фотовольтаической ячейки.

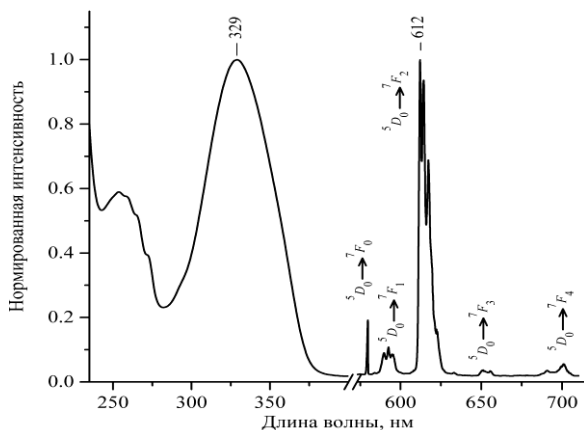


Рисунок 1. Нормированные спектры поглощения в циклогексане при 298К (слева) и люминесценции ($\lambda_{\text{возб}} = 280\text{-}390$ нм) в ВТЭОС гель-пленке при 4,2К (справа) $\text{Eu}(\text{Br-BTFA})_3\text{TFO}$.

В настоящей работе сообщается о разработке и синтезе золь-гель методом гибридной органо-неорганической нанопористой винилтриэтоксисилановой (ВТЭОС) пленки, допированной европиевым(III) комплексом – $\text{Eu}(\text{Bg-БТФА})_3\text{ТФФО}$ (где БТФА – бензоилтрифторацетон, ТФФО – трифенилфосфиноксид). Кроме ВТЭОС-пленки, спектрально-люминесцентные и фотофизические свойства комплекса были изучены в твердом состоянии, в спиртовом растворе.

Полученный материал не имеет полос поглощения в видимой и ближней ИК области, в то время как в УФ области спектра наблюдаются интенсивные полосы (рисунок 1, левая кривая), обусловленные $n\text{-}\pi^*$ и $\pi\text{-}\pi^*$ внутрилигандными переходами. Спектр люминесценции $\text{Eu}(\text{Bg-БТФА})_3\text{ТФФО}$ при температуре 4,2 К внедренного в силикатную ВТЭОС гель-пленку (рисунке 1, правая кривая) проявляет характеристические переходы $^5D_0 \rightarrow ^7F_{0-4}$ европия (III). Переход $^5D_0 \rightarrow ^7F_2$ при 612 нм очень интенсивен, достигает до 80-90% общей интенсивности люминесценции. Одиночный пик $^5D_0 \rightarrow ^7F_0$ перехода, расположенный при ~580 нм, указывает на присутствие одного типа центров в синтезированном материале. Материал имеет большой псевдостоков сдвиг (более 200 нм), что полностью исключает реабсорбцию.

В работе детально обсуждаются фундаментальные спектрально-люминесцентные и физико-химические свойства силикатной золь-гель ВТЭОС-пленки, как матрицы для внедрения европиевого комплекса, в первую очередь с точки зрения совместимости с требованиями фотовольтаических ячеек.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке БРФФИ (проект №Ф17-005).

ЛИТЕРАТУРА

1. Richards, B.S. Enhancing the performance of silicon solar cells via the application of passive luminescence conversion layers / B.S. Richards // Sol. Energy Mater. Sol. Cells. – 2006. – Vol.90, No.15. – P.2329-2337.
2. Tuning the Chemical Properties of Europium Complexes as Downshifting Agents for Copper Indium Gallium Selenide Solar Cells / A. Gavriluta [et al.] // J Mater Chem A. – 2017. – Vol.5, No.27. – P.14031-14040.

3. Bunzli, J.-C.G. Taking advantage of luminescent lanthanide ions / J.-C.G. Bunzli, C. Piguet // Chem. Soc. Rev. – 2005. – Vol.34. – P.1048-1077.

Белый О.А., к.т.н., доцент, Бернацкий А.Е.
ГНУ "Центр системного анализа и стратегических исследований НАН Беларуси", г. Минск

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И АГРОТЕХНИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ И ИХ РОЛЬ В ИНВЕСТИЦИОННОЙ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТИ БИОГАЗОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Ключевые слова: биоэнергетика, органические отходы, биогазовая установка, дигестат

Аннотация. В докладе описаны экологические факторы, имеющие место при функционировании биогазовых установок, и результаты их экономической оценки. Отражены основные проблемы развития биоэнергетического сектора в Республике Беларусь.

Активное развитие сельского хозяйства, рост и концентрация животноводческого сектора в Беларуси, порождает ряд экологических проблем. В первую очередь они связаны с большим объемом органических отходов (порядка 75 млн т в год), образующихся в процессе содержания животных и птицы, переработки продукции растениеводства, работы пищевой промышленности.

Решить экологические проблемы сельского хозяйства могло бы широкое распространение биогазовых технологий для переработки органических отходов. В биогазовой установке (далее - БГУ) под действием анаэробных бактерий происходит разложение органики на более простые вещества с параллельным выделением биогаза, основу которого составляет метан. Данное направление энергетики представлено сегодня в Беларуси рядом установок различной мощности, работающих на разных субстратах.

Функционируя в составе сельскохозяйственного предприятия, БГУ существенно влияет на эффективность его работы. Применение биогазовых технологий для переработки органических отходов

позволяет сократить экологическую нагрузку в районе расположения животноводческих комплексов, добиться снижения выбросов парниковых газов и нагрузки на очистные сооружения. Помимо этого, работа БГУ дает возможность обеспечить нужды предприятия собственной электрической и тепловой энергией.

Наиболее важным преимуществом биогазовой энергетики является влияние анаэробной переработки на качество субстрата, который, впоследствии, используется как эффективное и экологически чистое удобрение. В качестве важнейших эффектов от анаэробной переработки навоза отметим[1]:

- устранение неприятных запахов благодаря разложению летучих органических соединений;
- улучшение реологических свойств (текучести навоза), уменьшение загрязнений листьев кормовых растений, а также снижение затрат при подготовке и гомогенизации дигестата для использования в качестве удобрения;
- улучшение кратковременного воздействия азота на восприимчивость растениями;
- вследствие анаэробного процесса разложения питательные вещества, содержащиеся в навозе, лучше растворяются и поэтому становятся более доступными для растений [2].
- анаэробная обработка навоза также является хорошим способом подавления активности находящихся в навозе семян сорных растений, которые присутствуют во всех видах органических удобрений [3], а также возбудителей болезней, что позволяет уменьшить пестицидную нагрузку на окружающую среду.

Рядом исследований [4, 5] подтверждается также улучшение качества полученных после анаэробной переработки удобрений по сравнению с не переработанным навозом, которое сопровождается ростом урожайности обрабатываемых сельскохозяйственных культур на 7 – 15 %.

Очевидно, что в процессе обоснования экономической эффективности использования биогазовых технологий должны учитываться описанные экологические и агротехнические факторы.

Как показали расчеты, их доля в общем объеме доходов от эксплуатации БГУ составляет до 28 %, что позволяет сократить срок

окупаемости биогазовых проектов (на примере установки мегаваттного класса) с 10 до 7 лет [6].

Сегодня развитие биогазовой энергетики в Беларуси, несмотря на ряд весомых преимуществ, приостановилось, что связано с неудовлетворительным финансовым состоянием предприятий, нестабильностью инструментов государственного регулирования в этой сфере, квотированием на создание установок. Тем не менее, этот сектор видится эффективной составляющей дальнейшего развития агропромышленного комплекса Беларуси.

ЛИТЕРАТУРА

1. Handreichung Biogasgewinnung und Nutzung // Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), Gülzow, 2010;

2. H.Döhler, K. Schlißl, M.Schab (1999): BMBF – Förderschwerpunkt, Umweltverträgliche Gülleaufbereitung und –verwertung. KTBL Arbeitspapier 272. KTBL, Darmstadt.

3. Рекомендации по использованию биоудобрений (полученных на основе отходов биогазовых установок крупных животноводческих комплексов) при внесении их мобильным транспортом с организацией природоохранных мероприятий. – Брест: Альтернатива, 2013. – 54 с. : ил.;

4. Рекомендации по использованию биоудобрений (полученных на основе отходов биогазовых установок крупных животноводческих комплексов) при внесении их мобильным транспортом с организацией природоохранных мероприятий. – Брест: Альтернатива, 2013. – 54 с. : ил.;

5. Schaaf, H. (2002): Biogasgülle als aufgewerteter Wirtschaftsdünger für den landwirtschaftlichen Betrieb. Tagungsbericht 11. Jahrestagung des Fachverbandes Biogas e.V.: 50-57, Freising;

6. Исследовать и обобщить правовые, экономические и экологические требования, определяющие условия размещения и использования установок, работающих на возобновляемых источниках энергии, и разработать справочное пособие для потенциальных инвесторов: отчет о НИР (заключ.) / ГНУ "Центр системного анализа и стратегических исследований НАН Беларуси" ; рук. О.А. Белый; исполн.: А.Е. Бернацкий [и др.]. – Минск, 2015. – 280 с. - № ГР 20141977.

Будзинский М.¹, д.ф.-м.н., директор института физики,
Вальков В.И.², д.ф.-м.н., зав. отделом, Митюк В.И.³, к.ф.-м.н.,
ст. н. с., Суровец З.¹, к.ф.-м.н., доцент, Ткаченко Т.М.⁴ к.ф.-м. н.,
доцент.

¹ *Институт Физики, Университет М.Кюри-Склодовской,
Люблин, Польша.*

² *Донецкий Физико-Технический ин-т НАН Украины
им. А.А.Галкина, Донецк, Украина*

³ *ГО "НПЦ НАН Беларуси по материаловедению", Минск,
Беларусь*

⁴ *УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь*

MnNiFeGe – МАТЕРИАЛ ДЛЯ МАГНИТОКАЛОРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ

Ключевые слова. Магнитокалорический эффект, сплав MnNiFeGe, эффект Мессбауэра.

Аннотация. В работе проведено исследование структуры, магнитных и мессбауэровских свойств системы твердых растворов $\text{MnNi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{Ge}$ в области составов $0.10 \leq x \leq 0.25$. Показано, что в области температур от 70К до температуры незначительно ниже комнатной (магнитного фазового перехода T_C) изученные сплавы - ферромагнетики. Магнитные характеристики сплавов от характера термообработки практически не зависят. Предложена картина распределения атомов металлов по подрешеткам.

В результате практической деятельности человека происходит истощением природных энергоресурсов. Поэтому поиск, изучение и последующее использование новых источников и преобразователей энергии относятся к наиболее актуальным проблемам современности. Для многих отраслей современной техники интерес может представлять устройство, в котором воздействием магнитного поля на материал (рабочее тело) можно его разогреть (либо охладить). В основе такого преобразования магнитной энергии в тепловую и наоборот лежат прямой и обратный магнитокалорический эффект. Идея создания холодильных машин на основе этого эффекта дала толчок к исследованию свойств группы подходящих материалов, в том числе $\text{MnNi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{Ge}$ [1].

Структурные и магнитные свойства тройных соединений MnFeGe и MnNiGe изучены ранее, [2-3]. Но электронная структура четырех-компонентной системы MnNiFeGe в зависимости от содержания и распределения 3d компонент, заполнения 3d зон MnNi_{1-x}Fe_xGe практически не изучена. В работе проведено исследование структуры, магнитных и мессбауэровских свойств системы твердых растворов MnNi_{1-x}Fe_xGe в области составов 0.10≤x≤0.25.

Образцы MnNi_{1-x}Fe_xGe четырех различных составов получены из расплава гомогенных смесей порошков чистотой не ниже 99,99% в атмосфере аргона с последующей закалкой на колесо, вращающееся с линейной скоростью 20 мм×с⁻¹. Часть полученных образцов каждого состава затем отжигали при температуре T=850°C в течение 6 часов. Рентгенографический фазовый анализ на порошках полученных образцов, выполненный в CuK_α-излучении, показал, что все полученные твердые растворы MnNi_{1-x}Fe_xGe кристаллизовались в гексагональную структуру типа Ni₂In.

Измерения удельных намагниченностей твердых растворов MnNi_{1-x}Fe_xGe, 0.10≤x≤0.25, проведены по методу Фарадея в поле 0.86 Тл и интервале температур 77K≤T≤500K. Температуры Кюри определены экстраполяцией линейной части кривой температурной зависимости квадрата удельной намагниченности к оси температуры, таблица 1.

Для уточнения характера распределения атомов металла по подрешеткам, были проведены мессбауэровские исследования полученных твердых растворов MnNi_{1-x}Fe_xGe, 0.10≤x≤0.25. Эксперимент проведен в обычной геометрии прохождения, режиме постоянных ускорений с использованием источника резонансного излучения ⁵⁷Fe/Rh, ширина линии которого составляла 0.11мм/с. Температуры поглотителя составляли 77K (температура жидкого азота) и 290K (комнатная).

Таблица 1. Магнитные характеристики твердых растворов MnNi_{1-x}Fe_xGe, 0.10≤x≤0.25.

№	Состав	Способ обработки	T _C , K	σ, Г×см ³ ×г ⁻¹
1	MnNi _{0.75} Fe _{0.25} Ge	Закалка на колесо	234	67.60
2	MnNi _{0.8} Fe _{0.2} Ge	Закалка	232	63.68
3	MnNi _{0.85} Fe _{0.15} Ge	Закалка	220	62.86
4	MnNi _{0.9} Fe _{0.1} Ge	Закалка	218	56.73
5	MnNi _{0.75} Fe _{0.25} Ge	Закалка + отжиг (T=850C, t=6ч)	232	65.18
6	MnNi _{0.80} Fe _{0.20} Ge	Закалка + отжиг	230	65.95
7	MnNi _{0.85} Fe _{0.15} Ge	Закалка + отжиг	219	59.61
8	MnNi _{0.9} Fe _{0.1} Ge	Закалка + отжиг	295	10.93

По характеру температурной зависимости удельной намагниченности, образцы всех изученных составов $\text{MnNi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{Ge}$, $0.10 \leq x \leq 0.25$, относятся к ферромагнетикам. Переходов типа антиферромагнетик–ферромагнетик не обнаружено, какой–либо значительной зависимости магнитных свойств от способа термообработки сплавов также не выявлено. Величины удельных намагниченностей и температур Кюри для образцов одного состава, но с различными термообработками – закалкой (i) и закалкой с отжигом (ii) – различаются слабо. Дополнительный отжиг незначительно снижает (не более чем на 2emu/g) удельную намагниченность и также на $\sim 1\text{--}2^\circ$ температуру Кюри. Незначительное снижение магнитных параметров при отжиге образцов может быть связано с особенностями структуры типа Ni_2In .

Данные мессбауэровских измерений помогают уточнить картину распределения атомов металлов по подрешеткам. Совокупность полученных магнитометрических и мессбауэровских данных свидетельствует о том, что в $\text{MnNi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{Ge}$, при содержании железа $x=0.10\div 0.15$ атомы железа статистически распределены по обеим структурным подрешеткам: октаэдрической (MeI) и тригонально-бипирамидальной (MeII). С ростом содержания железа ($x>0.15$) в подрешетке MeII содержание железа остается практически постоянным, а железо сверх этой концентрации замещает только марганец в позициях MeI.

Заключение.

Все изученные сплавы однофазными твердыми растворами с гексагональной структурой типа Ni_2In . В области температур от 70K до температур магнитного фазового перехода изученные твердые растворы представляют собой ферромагнетики. Магнитные характеристики закаленных и отожженных образцов от характера термообработки практически не зависят.

Показано, что в $\text{MnNi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{Ge}$, $0.10 \leq x \leq 0.15$, при $x \sim 0.10\text{--}0.15$ железо статистически распределяется по двум типам структурно неэквивалентных позиций металла. При наращивании содержания $x>0.15$, железо замещает марганец в октаэдрических позициях. Никель в тригонально-бипирамидальных позициях железом не замещается.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ekkehard Hubertus Brück. Material for magnetic refrigeration preparation and application / Ekkehard Hubertus Brück, Ojiyed Tegusi, Frank Roelof De Boer // US Patent, 2004 - № 7069729 B2.
2. Zhang Cheng-Liang. Magnetic phase transitions and magnetocaloric effect in the Fe-doped MnNiGe alloys / Zhang Cheng-Liang, Wang Dun-Hui, Chen Jian, Wang Ting-Zhi, Xie Guang-Xi and Zhu Chun // Chin. Phys. B. - 2011- 20- 097501. DOI: [http:// iopscience.iop.org/1674-1056/20/9/097501](http://iopscience.iop.org/1674-1056/20/9/097501)
3. A.D. Bruce. Structural phase transitions (Monographs on physics) /A.D. Bruce, R.A. Cowley – Published by Taylor and Francis, 1981 - 326p.
4. G.K. Wertheim Anisotropic hfs Interactions in Ferromagnets from Mössbauer Effect Studies./ G.K. Wertheim, V. Jaccarino and J.H. Wernick // Phys. Rev. -1964- 135- A151-A154.
5. М. Будзинский, Структура и свойства $\text{MnNi}_{1-x}\text{Fe}_x\text{Ge}$, $0.10 \leq x \leq 0.25$. / М. Будзинский, В.И. Вальков, А.В. Головчан, В.И. Митюк, З. Суровец , Т.М. Ткаченко // Физика твердого тела.- 2015-57- С.2339-2344.

**Бутько А.А., Пашинский В.А., Ковшик В.В.,
Белорусский государственный университет, МГЭИ
им. А.Д. Сахарова, г. Минск, Республика Беларусь**

ЭМПИРИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОСТУПЛЕНИЯ СУТОЧНЫХ СУММ ПРЯМОЙ И РАССЕЯННОЙ РАДИАЦИИ

В мировой практике используется ряд эмпирических моделей позволяющих на основании месячных данных поступления суммарной солнечной радиации рассчитать приход прямой и рассеянной радиации, среди которых можно выделить модели Колларес-Перейры, Рэйбла и др.

Сопоставляя полученные результаты моделирования с фактическими измеренными значениями поступления рассеянной солнечной радиации, показало, что предложенные модели не являются приемлемыми для территории Беларуси. Данное несоответствие обуславливается рядом факторов, таких как: различие измеритель-

ной техники, методов корреляции данных, географического местоположения регистрации и полноты данных.

Особый интерес представляют данные суточной суммы суммарной солнечной радиации, которые при решении инженерных задач связанных с моделированием, проектированием и эксплуатации активных и пассивных систем энергоснабжения имеют лишь оценочный характер.

При разработке корреляционных связей эмпирической оценки поступления суточных сумм прямой и рассеянной солнечной радиации использовались приземные сетевые актинометрические наблюдения ГУ «Республиканский гидрометеорологический центр» по ОМН Минск ($\varphi = 53,92^\circ$, $\lambda = 27,63^\circ$) полученные за период с 2006-2015 гг.

По результатам исследования получен набор следующих уравнений:

$$H_D = H_Q \begin{cases} 0,99 & K_T \leq 0,17 \\ -0,5792K_T^2 - 0,9643K_T + 1,2111 & 0,17 \geq K_T > 0,75 \\ -0,0318K_T + 0,2619 & 0,75 \geq K_T > 0,8 \\ 4,4082K_T - 3,3433 & K_T \geq 0,8 \end{cases},$$

где H_Q – суммарная солнечная радиация, МДж/м²; H_D – рассеянная солнечная радиация, МДж/м²; $K_T = H/H_0$ – индекс ясности атмосферы, характеризует отношение фактической суммарной солнечной радиации поступающей на земную поверхность H к солнечной радиации, поступающей на верхнюю границу атмосферы H_0 .

Прямая солнечная радиация H_S , МДж/м², определяется по формуле:

$$H_S = H_Q - H_D.$$

Достоверность аппроксимации предложенных уравнений (при количестве аргументов в выборке $n = 2888$) между измеренными и рассчитанными значениями поступления суммарной солнечной радиации составляет $R^2 = 0,88$. Графическая интерпретация аппроксимации H_D/H_Q представлена на рис. 1.

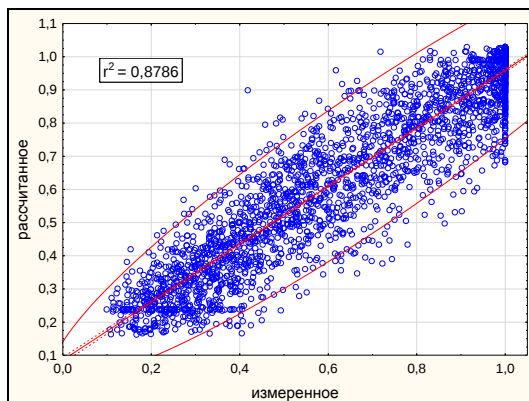


Рисунок 1 – Достоверность аппроксимации между измеренными и рассчитанными значениями H_D/H_Q

Статистическая обработка результатов исследования выполнена с помощью статистического пакета STATISTICA v.10.

Выше представленные результаты, полученные по ОМН Минск, являются адекватными для эмпирической оценки поступления сумм прямой и рассеянной радиации поступающей на горизонтальную поверхность в границах Беларуси.

Вертель М.¹, к.ф.-м.н., ст. специалист, С.М. Барайшук², к.ф.-м.н., доцент, М. Будзинский¹, д.ф.-м.н., директор

¹Институт физики, университета М. Кюри-Склодовской, Люблин, Польша

²УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ОСНОВЕ СОЕДИНЕНИЙ Cu-Zn-Sn ОСАЖДЕННЫХ НА ПОДЛОЖКИ Mo/СТЕКЛО и Mo-фольга

Ключевые слова: тонкие пленки $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$, прекурсоры, гибкие металлические подложки, атомно-силовая микроскопия, сканирующая электронная микроскопия.

Аннотация. В работе рассмотрены возможность построения тонкопленочных фотопреобразователей на основе нетоксичных и доступных компонентов $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$ (CZTSe) на подложках из стекла и гибкой металлической фольги. Фольговые подложки открывают новые возможности применения гибких тонкопленочных фотопреобразователей. Полученные структуры исследованы методом атомно-силовой микроскопии и методом сканирующей электронной микроскопии в сочетании с энергодисперсионной спектрометрией вторичных электронов.

1. Введение.

В настоящее время активно ведется работа по увеличению КПД фотопреобразователей, для повышения её эффективности, в том числе, при использовании в установках возобновляемой энергетики применяемых в АПК. Основными материалами для изготовления фотопреобразователей являются поликристаллический Si и тонкопленочные полупроводниковые соединения CdS/CdTe и Cu(In,Ga)Se_2 . Однако данные материалы содержат токсичные составляющие (кадмий, теллур) и редкие элементы (индий, галлий), что приводит к невозможности широкого использования и удорожанию фотопреобразователей на их основе, поэтому возникает необходимость в поиске альтернативного материала для светопоглощающих слоев. В этом качестве может быть использован полупроводниковый материал $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$ (CZTSe) [1-2]. Оптические и электрические свойства данного материала, а также широкодоступные нетоксичные составляющие (медь, цинк, олово, селен) позволяют им стать перспективным поглощающим слоем в тонкопленочных фотопреобразователях и основой для новых более доступных солнечных панелей.

Использование в качестве подложки гибкой металлической фольги вместо стекла позволяет расширить спектр применения тонкопленочных фотопреобразователей [3, 4], а так же исключает необходимость осаждения проводящего тыльного слоя, что значительно снижает стоимость изготовления модулей фотопреобразователей. Подложки из фольги позволяют использовать промышленную рулонную технологию производства пленок. Необходимо отметить, что поверхность пленки и подложки, характеризующиеся большой шероховатостью играют важную роль в улучшении поглощения падающего света на полупроводниковый слой за счет уменьшения потерь на отражение, что подтверждается в [5–7].

В данной работе представлены результаты исследования сканирующей электронной микроскопии (СЕМ) в сочетании с энергодисперсионной спектроскопией влияния типа подложек (Мо/стекло и Мо-фольга) на структуру поверхности прекурсоров Cu-Zn-Sn пленок CZTSe.

2. Эксперимент. Для получения тонких пленок CZTSe используется двухстадийная методика: на первом этапе получают металлические прекурсоры Cu-Zn-Sn, а на втором проводят селенизацию прекурсоров при температуре 500-550 °С. Металлические прекурсоры Cu-Zn-Sn послойно электрохимически осаждены на подложки Мо/стекло и Мо-фольга в следующем порядке: подложка/Cu/Sn/Cu/Zn. В качестве анодов для осаждения соответствующих металлических слоев использовались пластины из промышленной анодной меди, высокочистого олова (99,999 %) и цинка.

Элементный состав пленок определялся методом энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии с использованием электронного сканирующего микроскопа EDX Oxford Instruments AZtecEnergy – Advanced с кремний-дрейфовым (SDD) детектором X-act с активной площадью кристалла 10 мм², работающим при комнатной температуре. Морфология поверхности образцов исследовалась методом сканирующей электронной микроскопии на электронном микроскопе TESCAN Vega 3LMU используя детектор вторичных электронов типа Everhart-Thornley (с кристаллом YAG)-ВЭ детектор, Детектор вторичных электронов.

3. Результаты и обсуждение.

На рис. 1 представлены характерные изображения, полученные методом сканирующей электронной микроскопии, поверхности осажденных прекурсоров CZT, с распределением элементов в выделенной области полученным методом энергодисперсионной спектроскопией.

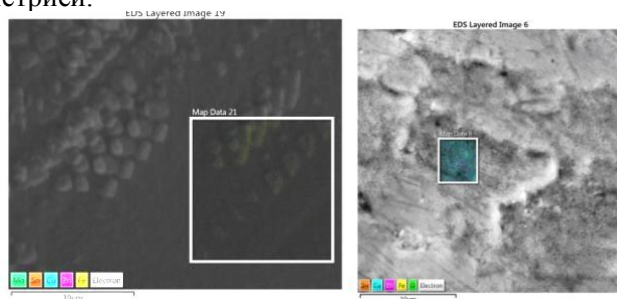


Рис. 1. СЕМ-изображения поверхности осажденных прекурсоров CZT на подложке Мо/стекло (a), Мо-фольга (b)

На поверхности прекурсора Cu-Zn-Sn, осажденного на подложку Мо/стекло (рис. 1,б), наблюдается локальная зернистая структура, также присутствуют эрозийные участки, которые в процессе осаждения образуют кластеры размерами $1,2 \times 1,5$ мкм. Зерна имеют приблизительно одинаковую форму: продолговатые, ориентированные в одном направлении вдоль нормали к подложке. Размер зерен составляет 600×600 нм высотой до 500 нм. Параметры шероховатости прекурсоров Cu-Zn-Sn приведены в таблице 1.

Таблица 1. Параметры топографии исследуемых образцов.

	Подложка		Cu-Zn-Sn	
	Мо/стекло	Мо-фольга	Мо/стекло	Мо-фольга
R_a , нм	8,15	144,21	68,34	116,59

На изображениях СЕМ так же хорошо видно, что на поверхности покрытия формируется мелкозернистая структура (рис. 1 а).

Шероховатость поверхности прекурсоров на подложке Мо/стекло (табл. 1) в 8–9 раз выше, чем шероховатость подложки. В то же время, для прекурсоров на подложке из Мо-фольги, характерно уменьшение шероховатости поверхности по сравнению с шероховатостью подложки на 16-20%. Значения шероховатости прекурсоров Cu-Zn-Sn на Мо фольге больше, чем на подложке Мо/стекло, что подтверждает влияние поверхности подложки из Мо-фольги на формирование топологии прекурсоров.

Анализ результатов энергодисперсионной спектроскопии показывает, что в приповерхностной области элементы распределены равномерно с концентрациями указанными в таблице 2.

Таблица 2. Элементный состав (ат%) поверхности прекурсоров.

Элемент		C	Cu	Zn	Sn	Si	Mo	O
Подложка	Мо/стекло	18,2	21,2	10,5	15,2	3	16,6	14,8
	Мо-фольга	12,3	35,6	16,5	19,1		8,3	7,5

Анализ приведенных данных показывает наличие зависимости элементного состава покрытия от состава подложки и наличие встречной диффузии элементов стеклянной подложки в покрытие, что согласуется с проведенными ранее исследованиям [7, 8].

Шероховатости поверхностей пленок прекурсоров, осажденных на подложки Мо/стекло и Мо-фольги (табл.1), имеют незначительное различие при значительном различии в шероховатости подло-

жек. Более того, нанесение покрытия способствовало устранению дефектов на подложке фольги в виде царапин по сравнению с подложкой из стекла с подслоем молибдена. Очевидно, что шероховатость металлических подложек оказывает незначительное влияние на параметры топографии получаемых покрытий, то есть подложки такого качества могут быть использованы для тонкопленочных фотопреобразователей.

Заключение.

На топологические свойства прекурсоров CZT, полученных электрохимическим осаждением, оказывает влияние тип подложки её элементный состав и состав наносимых пленок. Во всех случаях образуется зернистая структура на поверхности пленок CZTSe. Пленки CZTSe на исследуемых подложках имеют близкие значения шероховатостей, что говорит о возможности использования гибкой металлической фольги в качестве подложки для пленок. Элементный состав прекурсоров CZT и пленок CZTSe, определенный методом энергодисперсионной спектроскопии, не содержал посторонних элементов в пределах чувствительности.

ЛИТЕРАТУРА

1. M.P. Paranthaman, W. Wong-Ng, R.N. Bhattacharya. //Switzerland: Springer International Publishing, 2016. – V. 218. P. 25.
2. Fthenakis V.M., Moskowitz P.D. // Prog. Photovoltaics Res. Appl., 1995, vol. 3, pp. 295–306. doi: 10.1016/j.enpol.2016.04.036.
3. K. Seifart, W. Göhler, T. Schmidt, R. John, S. Langlois. // Proceedings of the 7th ESPC. Italy, 2005, pp. 200–210.
4. Otte K., Makhova L., Braun A., Kononov I. //Thin Solid Films, 2006, vol. 511–512, pp. 613–622. doi: 10.1016/j.tsf.2005.11.068.
5. J. Huang [et al.] // American Control Conference, San Francisco, CA, USA June 29 - July 01, 2011./ Agilent Technologies; Edited by Martha Grover [et al.]. USA, 2011. – P. 2957–2962.
- A. Poruba, A. Fejfar // Journal of Applied Physics. – 2000. – Vol. 88. – P. 148–160.
6. S. F. Rowlands, J. Livingstone, C. P. Lund // Solar Energy. – 2004. – Vol. 76. – P. 301–307. [8]. Tashlykov I.S., Baraishuk S.M. // Russian Journal of Non-Ferrous Mat. 2008. T. 49. № 4. С. 303-307.
7. Tashlykov I., Baraishuk S., Mikkalkovich O., Antonovich I. // Przegląd Elektrotechniczny. 2008. T. 84. № 3. С. 111-113.
8. И.С. Ташлыков, С.М. Барайшук, В.В. Тульев, В.Ф. Гременок //Физика и химия обработки материалов. 2011. № 1. С. 66-70.

**Дворник Г.М., к.п.н., доцент, Ковалев В.А., к.т.н., доцент
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь**

НАУЧНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СИСТЕМНОГО РАЗВИТИЯ НЕТРАДИЦИОННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Ключевые слова: нетрадиционные и возобновляемые источники, виртуальное моделирование, 3D технологии.

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы необходимости подготовки высококвалифицированных кадров в области нетрадиционной энергетики.

Говоря о нетрадиционных и возобновляемых источниках энергии, следует отметить, что в нашей стране это направление стало развиваться сравнительно недавно и как следствие у нас недостаточно научно-практического опыта и высококвалифицированных специалистов в этой области. Сегодня наиболее активно данное направление энергетики развивают страны, обладающие определенными природными условиями. В Республике Беларусь отсутствуют муссонные ветра, и количество солнечных дней в году относительно невелико, следовательно, нужны серьезные научные разработки по эффективному использованию тех ресурсов, которые у нас есть в наличии. Эту проблему можно решить, если в стране будет создана научная база и «школа» подготовки специалистов в области нетрадиционной энергетики.

Как представляется, ввести новые специальности на энергетических факультетах – это не самое сложное дело. Серьезная проблема возникает при создании ультрасовременной учебно-лабораторной базы. И основные факторы, определяющие трудности – финансирование и темпы научно-технического прогресса. Парадокс проблемы заключается в том, что скорость оформления документов, доставка и монтаж нового закупленного оборудования для модернизации учебных лабораторий учреждений образования отстают от скорости появления на рынке более совершенных образцов. Анализ деятельности передовых вузов и ведущих мировых компаний показывает, что выход из этого замкнутого круга может

быть найден в использовании виртуального моделирования [1]. Его преимущество заключается в том, что оно:

- позволяет моделировать процессы, которые принципиально невозможно осуществить в лабораторных условиях;
- существенно повышает безопасность учебно-практической работы в лабораториях;
- дает возможность в различных масштабах времени оценивать и наблюдать физические процессы;
- формирует у обучающихся профессиональные компетенции в связи с возможностью многократности повторения моделируемого процесса;
- существенно снижает использование расходных и вспомогательных материалов при проведении опытов;
- является высокоэффективным методом обучения, так как виртуальные модели максимально точно имитируют реальные условия.

Сегодня виртуальное моделирование неразрывно связано с 3D-визуализацией. Чаще всего 3D-технологии применяются в промышленности – в проектировании и конструировании строительных объектов, подготовке персонала. В медицине на основании 3D готовят высококлассных хирургов, без риска для здоровья пациентов. Бизнес широко использует 3D в сфере рекламы. Крупнейшие мировые концерны: Boeing, Suzuki, Lexus, Peugeot, Citroen, РосАтом, ЛукОйл и др. используют 3D-решения в своих производствах.

В учебных заведениях наибольшее распространение эти технологии получили в форме виртуальных лабораторий [2, 3]. По мнению специалистов, они позволяют:

- выйти на более высокий уровень восприятия и усвоения учебной информации, представляемой ярко, с необычно высоким уровнем качества;
- реализовать идеи индивидуального и дифференцированного подхода в процессе обучения;
- подготовить будущих специалистов к самым современным технологиям и условиям производства;
- создать условия для развития творческих способностей.

Кроме этого, по данным исследовательской компании EON Reality, методики интерактивного обучения с помощью 3D-технологий в вузах могут на 80% повысить запоминаемость учебного материала.

В настоящее время на кафедре электротехники БГАТУ в рамках научной темы «Совершенствование процесса формирования профессиональных компетенций выпускников в области электротехники с использованием информационно-коммуникационных технологий» коллективом сотрудников и преподавателей ведется разработка основных направлений применения виртуальных моделей при формировании профессиональных компетенций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сохатюк, Ю.В. Использование виртуальных лабораторий – фактор повышения качества и эффективности формирования профессиональных компетенций у студентов [Текст] // Педагогика: традиции и инновации: материалы Междунар. науч. конф. (г. Челябинск, октябрь 2011 г.). Т. II. – Челябинск: Два комсомольца, 2011. – С. 146-150.

2. Как 3D меняет жизнь: применение 3D-технологий в образовании, строительстве и других отраслях [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ibusiness.ru/gid/it/kaktridmenyayetzhizn>. – Дата доступа: 05.09.2017.

3. Применение виртуальных лабораторий в техническом образовании. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.allbeton.ru/article/450074.html>. – Дата доступа: 06.09.2017.

**Иванова Е.В., Пашинский В.А., Бутько А.А.,
Белорусский государственный университет, МГЭИ
им. А.Д. Сахарова БГУ г. Минск, Республика Беларусь**

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТОПЛИВА НА ОСНОВЕ «ТОРФ-ТРОСТНИК» И «ТОРФ-ИВА»

На сегодняшний день проблеме восстановления торфяных болот и использованию территорий обработанных торфяников в Беларуси уделяется много внимания. Так, Постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 1111 от 30.12.2015 была утверждена «Стратегия сохранения и рационального использования торфяников», которая определяет основные проблемы в этой области и современное состояние торфяников. Исходя из докумен-

та, должно быть обеспечено восстановление не менее 15% площади (около 75 тыс. га).

Восстановление торфяных болот направлено, в первую очередь, на восстановление процесса накопления торфа, предполагающего взаимосвязь растительности, воды и торфа. В качестве растительности при повторном затоплении может быть тростник обыкновенный, который в последующем может быть использован как биотопливо в 1-й год с начала закладки производственной плантации.

Еще одним направлением использования выработанных торфяников, является выращивание на них в энергетических целях древесно-кустарниковой породы с коротким периодом роста ивы (*Salix alba*), которая хорошо себя показала при выращивании на деградированных почвах.

Обе эти культуры могут использоваться как самостоятельное топливо, в виде пеллет и щепы, либо применяться в качестве добавки к другим видам топлива. Целью исследования стало определение энергетических характеристик топлива, которое получается в результате смешения торфа со щепой ивы и тростником в разных процентных соотношениях.

Одной из энергетических характеристик топлива «торф-тростник» и «торф-ива» является его теплотворная способность. Результаты исследования высшей теплоты сгорания тростника на четырех выделенных участках ОАО «Торфобрикетный завод «Лидский» и ивы на экспериментальном участке в д. Волма Дзержинского района представлены в таблицах 1 и 2 соответственно.

Низшая теплота сгорания фрезерного торфа рассчитывается по элементарному составу и составляет 8001 кДж/кг. При сжигании смеси топлив заданной массовыми долями, низшая теплота сгорания, кДж/кг, 1 кг смеси равна [1]:

$$Q_i' = (Q_i')g' + (Q_i')''(1-g'), \quad (1)$$

где (Q_i') – теплота сгорания тростника (ивы), кДж/кг; g' – доля тростника (ивы) в смеси; $(Q_i')''$ – теплота сгорания торфа, кДж/кг.

По формуле (1) расчет выполнили с шагом 5% в интервале от 5 до 50 %. Результаты расчета представлены в таблицах 3 и 4.

Таблица 1 – Высшая теплота сгорания тростника

Номер участка	Q_s^a, max , кДж/кг	Q_s^a, min , кДж/кг	$\overline{Q}_s^a$, кДж/кг	σ
участок 1	16594	15769	16356	270,4
участок 2	16409	15875	16367	340,2
участок 3	16760	15103	15578	224,7
участок 4	16289	15870	14247	237,1

Примечание: при расчете высшей теплоты сгорания пробы топлива $S_t^a = 0,04\%$.

Таблица 2 – Теплотворная способность фракции биомассы ивы

Номер участка	Q_s^a, max , кДж/кг	Q_s^a, min , кДж/кг	$\overline{Q}_s^a$, кДж/кг	σ
стволовая древесина	19718	18022	19080	577,4
ветви с корой	19106	17801	18539	508,8
кора	18604	17372	17843	382,1
листва	18826	17690	18076	438,4

Таблица 3 – Низшая теплота сгорания смеси «торф-тростник»

Величина	Содержание тростника в смеси									
	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%
Низшая теплота сгорания Q_i^r , кДж/кг	8418	8836	9254	9673	10091	10509	10927	11345	11763	12181

Таблица 4 - Низшая теплота сгорания смеси «торф-ива»

Величина	Содержание ивы в смеси									
	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%
Низшая теплота сгорания Q_i^r , кДж/кг	8542	9082	9623	10162	10703	11243	11783	12323	12863	13404

ЛИТЕРАТУРА

1. Мочан С.И. Тепловой расчет котлов (нормативный метод). Издание третье, переработанное и дополненное / С.И. Мочан и др. Санкт-Петербург, 1998. – 257 с.

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

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК БИОГАЗОВЫХ КОМПЛЕКСОВ

Ключевые слова: газопоршневой агрегат, микротурбинная установка, эффективность, оптимальные параметры эксплуатации.

Аннотация. В Республике Беларусь имеется большой потенциал использования возобновляемых источников энергии, к которым относится интенсивно развивающаяся биоэнергетика. Сейчас в АПК республики работают более 20 биогазовых комплексов. Энергетическую основу этих комплексов составляют когенерационные установки, в состав которых обычно входит газопоршневой агрегат.

Современные энергетические установки работают на биогазе, свалочном газе и газе канализационных стоков. Определяющим критерием выбора силовых агрегатов для строительства когенерационных установок являются вопросы расхода топлива, уровень эксплуатационных затрат, а также срок окупаемости оборудования энергетических блоков. Кроме того, для потребителя электрический КПД является основным критерием при выборе силовых агрегатов установки. Попробуем сопоставить факты эффективности работы газопоршневых двигателей (фирмы Jenbacher) и микротурбинных агрегатов (Capstone), которые занимают максимальную часть рынка в этой сфере.

Средний КПД большинства моделей микротурбин 27–28% против 40–44 % поршневых машин [2]. Микротурбинам необходимо высокое давление на входе в камеру сгорания, что осуществляется с помощью дожимного компрессора. Это снижает КПД, как минимум, еще на 2 %. Кроме того, микротурбины «не любят работать» в режимах с неполной нагрузкой. Так при загрузке микротурбины около 25% от номинала КПД составляет уже 19% [2]. Зависимость КПД микротурбины от температуры

окружающего воздуха тоже крайне велика. Например, как показали совместные испытания, проведенные БГАТУ и фирмы «FILTER» в 2012 г. на МКК «Глубокский», выходная мощность микротурбины типа TA-100 RCHP Capstone начинает стремительно падать уже при температуре +18°C, а при +30°C снижается уже на четверть [1].

Рассмотрим эксплуатационный режим названных установок. Так, установки на базе микротурбин предполагают комплектацию только низковольтным (до 400 В) электрическим генератором. Передать электроэнергию с таким напряжением без потери можно примерно на 500 м. Производители на базе поршневых агрегатов, как правило, осуществляют комплектацию установки высоковольтным генератором (6,3–10,5 кВ), что дает возможность передавать энергию без потерь на расстояние в несколько километров. Кроме того, единичная мощность микротурбин невелика (максимум до 200 кВт), поэтому для достижения большой мощности необходимо собирать в группы («кластеры»). В «кластере» микротурбины Capstone управляются «мастер-машиной», которой назначается одна из установок. Однако, при выходе из строя «мастера» происходит полный останов системы. Комплексная работа газопоршневых установок реализована совсем иным способом. Она достигается с помощью распределенной системы управления, что сохраняет работоспособность системы даже при выходе из строя одной из газопоршневых установок, что само по себе нонсенс.

Технический персонал, ведущий эксплуатацию микротурбин, уверяет, что постоянная нагрузка приводит к сокращению их срока с заявляемых 16000 до 12000 и требует их замены уже через 8000–9000 часов наработки. При этом необходимо учитывать, что энергетическая установка биогазового комплекса ежегодно нарабатывает ресурс в 8300 часов. Большинство газопоршневых установок фирмы Jenbacher первый капремонт проводится после 80000 часов эксплуатации, а фирмы Wartsila спустя 120000! [2]

Специалистами ГП «Институт энергетики НАН Беларуси» были проведены обследования и анализ работы энергоисточников на ОАО «Агрокомбинат Держинский». На предприятии с 2011 г. были установлены микротурбинные установки типа TA-100 RCHP Capston (5 шт.) мощностью 100 кВт. За период 2011–2014 гг. наработка микротурбин составила 5775 часов или 28,9 % от номинальной наработки (20000 часов), одновременно из-за различных неисправностей в работе находились только 2–3 установки.

Также не следует забывать о плановых ремонтах энергетических установок. Например, к большому минусу микротурбины можно отнести стоимость запасных частей для проведения капитальных ремонтов (около 70 % от первоначальной стоимости установки). Стоимость капитального ремонта газопоршневого двигателя может составлять 50 % от первоначальной стоимости самого силового агрегата, а не всей электростанции (при капремонте, как правило, осуществляется замена поршневой группы).

Для электростанций на базе газопоршневых установок и газовых турбин важным является соблюдение правила N+ 1 (количество действующих агрегатов плюс один – для резерва). Это обусловлено тем, что для силовых установок любых типов надо проводить регламентные и ремонтные работы. Предприятию, подключенному к сети, можно смонтировать только одну установку пользоваться собственной электроэнергией по себестоимости, а во время техобслуживания питаться от общей электросети, платя по счетчику. Это дешевле, чем «+1», но, к сожалению, не всегда выполнимо.

В заключение хочется отметить, что как показала практика эксплуатации микротурбинных установок на предприятиях АПК Республики Беларусь, эти установки имеют очень низкую надежность. Поэтому микротурбины возможно использовать на объектах с высокой потребностью в электрической и тепловой энергии неравномерным графиком потребления, где главной задачей автономного источника энергии является наличие энергоснабжения в принципе.

Поршневые установки желательно применять в качестве основных, резервных или аварийных источников электроэнергии. Рассмотренный в статье ряд позиций оборудования для комплектации биогазовых энергетических комплексов говорит о том, что при выборе силовых агрегатов автономной электростанции необходимы консультации специалистов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Энергосберегающие технологии в АПК / Коротинский В.А. – Минск: БГАТУ 2014 – 142 с.
2. Что лучше, надежнее, экономичнее для автономной электростанции: газопоршневые или газотурбинные силовые агрегаты? [сайт] [2017]. URL: http://www.manbw.ru/analytics/which_is_better_gas_piston_or_gas_turbine_power_units.html (дата обращения 19.10.17).

Кучур С.С., к.т.н., доцент
Международный государственный экологический институт
им. А.Д. Сахарова Белорусского государственного
университета, г. Минск, Республика Беларусь

ИССЛЕДОВАНИЕ НАВОЗА КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА В КАЧЕСТВЕ СУБСТРАТА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА БИОГАЗА

Ключевые слова: Биогаз. Отходы животноводства. Сухое вещество. Органическое сухое вещество. Летучие жирные кислоты. Биогазовый комплекс.

Аннотация. Приведены результаты исследования навоза крупного рогатого скота (КРС) различных сельскохозяйственных предприятий в качестве субстрата для производства биогаза. Определены: содержание в сырой массе навоза сухого вещества, органического сухого вещества и концентрация летучих жирных (органических) кислот. Проведен оценочный расчет выхода биогаза.

Биоэнергетика – это своеобразный тренд на стыке интересов аграрного комплекса, энергетики и экологии. В экономике Республики Беларусь важную роль играет агропромышленный комплекс. В сельском хозяйстве республики насчитывает порядка 9 тыс. животноводческих ферм. Потенциальные возможности получения товарного биогаза от переработки годовой биомассы животноводческих комплексов могут составить более 1 млн. тонн условного топлива в год.

Исследования проведены в лаборатории биогазовых технологий кафедры энергоэффективных технологий Международного государственного экологического института им. А.Д. Сахарова Белорусского государственного университета. Лаборатория создана при финансовой поддержке Центра международной миграции и развития ФРГ (Centrum für internationale Migration und Entwicklung (CIM)).

Определены следующие показатели (таблица):

- содержание сухого вещества (СВ)- доля обезвоженной смеси после высушивания при 105 °С;
- содержание органического сухого вещества (ОСВ) - уменьшенная на содержание воды и неорганическую субстанцию

доля субстрата, получаемая путем высушивания при 105 °С и последующего каления при 550 °С;

- содержание ОСВ в граммах на 1 кг сырой (исходной) массы субстрата (ОСВ_{см}).

Вид субстрата	Содержание СВ, %	Содержание ОСВ, %	Содержание ОСВ _{см} , г/кг
Навоз коров -с соломой	21,49	84,39	181,35
Навоз коров - жидкая фракция-смыв	10,7	84,91	90,85
Навоз телят до 6 месяцев	18,52	85,12	157,64
Навоз телят на откорме с 4 до 6 месяцев	21,85	85,43	186,66
Навоз телок 6 – 12 месяцев	19,66	86,38	169,82
Навоз телок на откорме старше 12 месяцев	20,82	90,11	187,61
Навоз нетелей 12 – 18 месяцев	20,58	87,6	180,28

Содержание ОСВ в субстрате – одна из основных характеристик биологического сырья для производства биогаза. Учитывается, в первую очередь для:

- оценки качества субстрата и расчета выхода метана и биогаза в целом при проведении маркетинговых исследований на предмет строительства и обоснования мощности биогазовых установок;

- расчета удельной объемной нагрузки при проектировании или выборе реактора биогазовой установки;

- оптимизации режимов эксплуатации биогазовых установок, например, объемов загрузки реактора - возможность качественного перемешивания сырья;

- расчета микробной нагрузки с целью поддержания стабильности процесса анаэробного сбраживания.

Соотношение органических кислот, (называемых также летучими жирными кислотами, эквивалентами уксусной кислоты), дает информацию о состоянии процесса анаэробного брожения. Бактерии уксусной кислоты из органических кислот производят исходные вещества для образования метана, а именно: уксус-

ную кислоту, углекислый газ и водород. Эти органические вещества являются источником питания для метанообразующих бактерий, которые превращают органические кислоты в биогаз. Исследования показали, что вариация концентрации летучих жирных кислот составляет 669 – 3309 мг/кг (при влажности субстрата при его загрузке в реактор (метантенк) для зимних условий 85 %). Данный показатель существенно влияет на потенциальный объем выхода биогаза. При стабильном процессе образования биогаза концентрация органических кислот в составе исследуемого биологического сырья ниже 2000 мг/л. Если уровень превышает 3000 мг/л, то произойдет нарушение процесса. Накопление кислот вызывает задержку развития метановых бактерий вплоть до полной остановки процесса разложения.

На основании ТКП 17.02.05-2011 «Порядок расчета экономической эффективности биогазовых комплексов» выход биогаза от навоза КРС составляет 0,250-0,340 м³/(кг ОСВ). При среднем значении этого показателя 0,295 м³/(кг ОСВ) выход биогаза с 1 т сырой массы навоза КРС для обследованных предприятий составит от 19,2 м³ до 51,9 м³. Фактическое отличие объема выхода биогаза составляет 2,7 раза.

Проведенный анализ показал, что для решения практических задач, разработки технологий, адаптированных к условиям конкретных животноводческих комплексов, фактический выход биогаза необходимо рассчитывать на основании лабораторных исследований каждого вида субстрата.

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

МЕТОДИКА РАСЧЕТ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ С УЧЕТОМ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ МЕСТНОСТИ

Ключевые слова: солнечная радиация, метеорологическая величина, солнечная энергетическая станция.

Аннотация: Расчет солнечной энергетической установки является первым этапом проектирования энергетической станции. В работе рассматривается методика расчета энергетической установки на основе возобновляемых источников энергии с учетом географического расположения и климатических условий местности.

Основная часть.

При проектировании энергетического комплекса на основе возобновляемых источников энергии (солнечная энергетическая установка), необходимо провести анализ и расчет региона, где будет создаваться энергетическая станция. Оценка потенциала солнечной энергетики основывается на многолетних данных актинометрических наблюдений с наибольшего количества станций, расположенных равномерно по территории. Основными параметрами для оценки потенциала солнечной радиации являются: географическая широта местности и климатические характеристики района. Суммарная солнечная радиация Q является наиболее полной энергетической характеристикой солнечного излучения, которую можно рассчитать по выражению $Q = S \cdot \sin h + D$, где S – прямая солнечная радиация, h – высота солнца над горизонтом, D – рассеянная солнечная радиация.

При недостаточном количестве актинометрических станций в регионе, используют соответствующие методики расчета солнечного излучения. Расчетным путем можно определить суммарную интенсивность солнечного излучения на горизонтальную поверхность за определенный период времени

$Q = Q_0 \cdot a + b \cdot t_c / t_0$, где Q_0 – суммарное солнечное излучение при ясном небе за рассматриваемый промежуток времени; a , b – эмпирические коэффициенты; t_c – эмпирическая продолжительность солнечного сияния за выбранный период времени; t_0 – астрономическая возможность времени солнечного сияния на данной широте.

Распространённым методом расчета поля суммарной радиации является метод полиномиальной аппроксимации, который основывается на описании участка поля метеорологической величины в окрестности точки полиномом первого порядка $T(x, y) = A_0 + A_1 \cdot x + A_2 \cdot y$, где x , y – декартовы координаты локальной системы; A_0, A_1, A_2 – весовые коэффициенты, определяемые по методу наименьших квадратов.

Недостаток данного метода заключается в том, что он позволяет оценить солнечную радиацию, распределенную на горизонтальную поверхность (местность), которая представляется в виде идеально ровного участка, где не учитываются высота местности над уровнем моря и закрытость горизонта.

В связи с данными недостатками предлагается методика расчета солнечной радиации приведенным выше методом, где будут учитываться географические характеристики региона. Для этого представим метеорологическую величину T в таком виде

$$T(x, y) = A_0 + A_1 \cdot x + A_2 \cdot y + B_1 \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{a} \cdot x\right) \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{b} \cdot y\right),$$

где B_1 – показывает изменение метеорологической величины между величинами A_1 и A_2 , при этом рассматривая участок как неровную поверхность.

Заключение. Рассмотренная методика расчета солнечной энергетической установки позволит учесть ландшафтные изменения местности, географические параметры и климатические условия, что даст более точно произвести оценку потенциала солнечной энергетики района и произвести выбор участков, где будет максимальная эффективность солнечной станции.

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

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕДВИЖНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК НА ОСНОВЕ СОЛНЕЧНЫХ ФОТОЭЛЕМЕНТОВ

Ключевые слова: солнечный фотоэлектрический элемент, концентратор, система слежения за Солнцем.

Аннотация: Применение распределенной генерации на основе возобновляемых источников энергии является одним из способов решения существующих проблем электроснабжения сельскохозяйственных потребителей. В работе рассматриваются варианты повышения эффективности мобильных солнечных энергетических установок на основе фотоэлектрических преобразователей.

Основная часть. Основными известными способами повышения эффективности солнечных фотоэлектрических установок (СФУ) являются:

1. Разработка прогрессивных технологий изготовления солнечных фотоэлектрических элементов (СФЭ), направленных на уменьшение их стоимости и увеличение КПД.

Несмотря на разработку различных типов солнечных элементов, кристаллические кремниевые СФЭ доминируют с самого начала развития фотоэлектрических технологий и занимают на сегодняшний день более 85% рынка. Это объясняется высокой распространенностью кремния в природе, относительной его дешевизной и развитостью индустрии по производству полупроводниковых приборов на основе кремния, влияющих на стоимость кремниевых СФЭ, которая остается относительно низкой по сравнению с различными типами существующих сегодня СФЭ, к примеру, арсенид галлиевых.

2. Использование концентраторов солнечного излучения.

В настоящее время подавляющее большинство СФУ на месте эксплуатации ориентированы на юг и установлены под постоянным углом β к горизонту.

уменьшить капиталовложения. Однако остается необходимость в системах охлаждения и слежения с одновременным ужесточением требований к ним. В целях снижения капитальных затрат на единицу мощности ведутся работы по проектированию систем с неподвижным концентратором и подвижным или неподвижным приемником (СФЭ).

Неподвижная конструкция концентрирующей системы исключает применение подвижных механизмов с электроприводами, что существенно влияет на уменьшение ее стоимости и увеличение надежности. Данное преимущество становится явным для мощных СФУ с концентрирующей системой больших размеров. К тому же, для снижения первоначальных капитальных затрат, в качестве концентрирующей поверхности или опорных конструкций имеется возможность использовать части сооружений или зданий.

3. Применение систем слежения за Солнцем.

Применение систем слежения за Солнцем в СФУ обеспечивает наибольший приход солнечного излучения на поверхность СФЭ, что способствует увеличению выходной мощности СФУ и дневного интервала генерирования электрической энергии.

Системы слежения по степени пространственной ориентации на Солнце подразделяются на системы: с частичной (азимутальной) ориентацией, где СФУ установлена под постоянным углом β к горизонту и учитывается азимутальное перемещение Солнца; полной (азимутальной и зенитальной) ориентацией.

Заключение. Для повышения эффективности СФУ необходимо: создавать концентраторные системы, которые повысят КПД преобразования солнечного излучения СФЭ; использовать установки с неподвижным концентратором и подвижным приемником и системой слежения за Солнцем, что приведет к уменьшению срока окупаемости СФУ и снижению стоимости вырабатываемой электроэнергии.

**Рахимова К.К., преподаватель, Садыков Ж.Д., ст. преподаватель,
Даминова Ю.С., преподаватель,
Ишмурадова Г.И., к.п.н., доц.,
«Каршинский государственный университет», г. Карши,
Узбекистан**

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПАССИВНЫХ СИСТЕМ СОЛНЕЧНОГО ОТОПЛЕНИЯ С ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩЕЙ СТЕНКОЙ

Ключевые слова: Солнечная энергия, пассивная система солнечного отопления, сельскохозяйственное сооружение.

Аннотация: В работе рассмотрена влияние теплоаккумулирующей стенки на эффективность сооружений с пассивным солнечным отоплением.

В настоящее время наблюдается тенденция резкого колебания цен на энергию в соответствии с уровнем потребления: как только обнаруживаются признаки нехватки энергии, цены на нее увеличиваются. Когда появляются излишки энергии, цены стабилизируются и иногда начинают снижаться. Но потребление энергии будет все больше возрастать, а ресурсы истощаться и это непременно скажется на потреблении и ценах всех видов используемой энергии. Если учитывать этот показатель, то всё актуальное становится задачей по экономии энергоресурсов и многие энергосберегающие технологии становятся экономически целесообразными.

Создание эффективной системы отопления сельскохозяйственных сооружений проводится с учетом тенденций развития топливно-энергетического комплекса страны, условий содержания животных и возможности экономии топливных ресурсов. Поскольку животноводческие предприятия являются крупными потребителями тепловой энергии, использование которой значительно влияет на себестоимость продукции. Важным является обоснование выбора наиболее эффективной системы теплообеспечения по технико-экономическим показателям, влияющей на эффективность животноводческого предприятия в целом.

В современных сельскохозяйственных сооружениях для отопления применяют печное, газовое и электрическое отопление. Самое

распространенным видом отопления является водяное отопление. В некоторых местах по климатическим зонам и с учетом продолжительности отопительного сезона в сельскохозяйственных сооружениях предпочтение отдают воздушному отоплению, совмещенному с приточной вентиляцией. Для водяных и паровых калориферов сооружают котельные, что не всегда экономически выгодно.

Солнечная энергия – это практически неиссякаемый, неистощимый и экологически чистый источник энергии. Использование солнечной энергии в системах теплоснабжения современных зданий и сооружений - является перспективное направление в теплоэнергетике.

Сегодняшние солнечные системы уже рентабельны, надежны и просты в эксплуатации. Их использование набирает популярность в развитых странах. Это становится не только экономно, но и престижно.

В основе многих солнечных энергетических систем лежит применение солнечных коллекторов. Коллектор поглощает световую энергию Солнца и преобразует ее в тепло, которое передается теплоносителю и затем используется для обогрева зданий, нагрева воды и т.п. Солнечные коллекторы могут применяться практически во всех процессах, использующих тепло.

Солнечный коллектор теряет тепло различными способами. Коэффициент потерь через прозрачную изоляцию зависит от температуры поглощающей пластины (поверхности коллектора), числа и материала прозрачных покрытий, температуры окружающей среды и скорости ветра.

Нанесение на теплоприемную(лучепоглощающую) поверхность солнечного коллектора поглощающих селективных покрытий, обладающих высокой поглощательной способностью солнечного излучения и низкой степенью черноты в спектральной области собственного излучения поверхности при рабочей температуре, является одним из действенных способов повышения эффективности коллектора.

Использование солнечной энергии в форме низкотемпературного тепла позволяет повысить эффективность солнечных установок из-за уменьшения тепловых потерь при низких температурах. Существует два типа систем использования солнечной энергии для целей отопления: активные и пассивные. Пассивные системы не требуют

затраты энергии для приведения их в действие, а при использовании активных систем необходима дополнительная энергия. Опыт показывает, что солнечные водонагреватели, используемые для горячего водоснабжения, могут окупаться в срок от 3 до 8 лет. Системы горячего водоснабжения получают широкое практическое применение. Однако системы горячего водоснабжения с отоплением за короткий срок еще не окупаются. Такие системы являются более сложными, и с экономической точки зрения они пока не эффективны.

В мировой практике научные и конструкторские работы преимущественно ведутся в направлении разработки и создании пассивных систем солнечного отопления, отличающиеся от активных систем своей простотой и дешевизной. Простота конструктивных решений пассивных систем солнечного отопления не требуют больших дополнительных капитальных, эксплуатационных и ремонтных затрат. Пассивные солнечные здания и сооружения - это те, проект которых разработан с максимальным учетом местных климатических условий, и где применяются соответствующие технологии и материалы для обогрева, вентиляции, охлаждения и освещения здания за счет энергии Солнца. К ним относятся традиционные строительные технологии и материалы, такие как изоляция, массивные полы, обращенные к югу окна. Такие помещения могут быть построены в некоторых случаях без дополнительных затрат. В других случаях возникшие при строительстве дополнительные расходы могут быть скомпенсированы снижением энергозатрат.

Пассивные солнечные здания являются экологически чистыми, они способствуют созданию энергетической независимости и энергетически сбалансированному будущему.

Главное преимущество пассивных систем солнечного отопления с теплоаккумулирующей стенкой - это наиболее выгодное распределение поступления энергии во времени, уменьшение возможности перегрева и связанным с ним дополнительных потерь тепла. С помощью конструктивных решений можно уменьшить потери тепла от теплоаккумулирующей стенки и тем увеличить эффективность системы.

Эффективность пассивных систем основывается на их сравнительно низкой стоимости, возможности использовать как прямую так и рассеянную солнечную радиацию, приток которой в зимнее

месяцы на горизонтальную поверхность может составлять более половины от суммарной. Из этого следует, что эффективность пассивной системы удобно определять отношением тепла поступающего от солнца к общей величине тепла необходимого для создания комфортных условий в помещении или к отопительной нагрузке.

Так как уравнение теплопроводности в безразмерной форме можно записать

$$\frac{\partial \theta}{\partial Fo} = \frac{\partial^2 \theta}{\partial X^2} \quad (3)$$

где $X = \frac{x}{\delta}$; $Fo = \frac{a\tau}{\delta^2}$, то для получения одинаковых решений и

одинакового запаздывания тепловой волны необходимо чтобы соблюдалось условие:

$$\frac{\lambda}{\delta^2} = \text{idem} \quad (4)$$

при $c\rho = \text{const.}$

Для выполнения условия постоянства произведения плотности на теплоемкость материала стенки т.е. для анализируемых условий могут быть рассмотрены различные варианты конструкции теплоаккумулирующей стенки. Например, добавкой в основной материал, материала с хорошей проводимостью. Для такой стенки, с увеличенной теплопроводностью и аккумулирующей способностью (4), является композиция основного вещества бетона с металлическим волокном, проволокой или стружкой. В этом случае расчет эффективной теплопроводности может быть выполнен на основе использования принципа обобщенной проводимости [1,2] в предположении о параллельном соединении проводников тепла через термические сопротивления основного материала и проводников из металла. Как показывают расчеты, выполненные на основе [1,2], незначительная добавка к плохому проводнику тепла металлических волокон сильно увеличивает его теплопроводность и практически не изменяет его объемную теплоемкость. Если принять, что расположение проводников тепла (например металлическая стружка) в основном материала хаотично и увеличение эффективной теплопроводности происходит одинаково по всем координатам (композиционное вещество как бы изотропно), то для расчетной

модели можно представить элемент композиционного материала с расположением всей массы металла по трем координатным осям. Для бетона и металла добавка десяти процентов по объему металла увеличивает теплопроводность композиционного материала по крайней мере на порядок. При этом произведение теплоемкости на плотность композиционного материала практически не меняется по сравнению с их произведением для основного материала теплоаккумулирующей стенки.

Современный уровень развития сельскохозяйственной отрасли и состояние ее сырьевой базы требуют принципиально нового подхода к решению проблемы ее энергообеспечения, в том числе за счет использования традиционных и возобновляемых источников энергии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Васильев Л.Л., Фрайман Ю.Е. Теплофизические свойства плохих проводников тепла.-Минск: Наука и техника, 1967. -176с.
2. Чакалев К.Н., Лунева И.О. Определение теплопроводности пористых материалов. Строительная теплофизика. -Минск, 1973.

**Русан В.И., д.т.н., профессор, Мордань И.Л., PhD,
Булко М.И., ст. преподаватель
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь**

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ: СОСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ

Ключевые слова: нетрадиционные и возобновляемые источники энергии, экологическая безопасность, импорт энергоносителей, тепловые насосы.

Аннотация. Изложены состояние и перспективы использования альтернативных источников энергии. Анализируется опыт внедрения ВИЭ в Беларуси. Излагаются проблемы дальнейшего использования ВИЭ в энергетическом строительстве

Экономика любого государства в мире и жизненный уровень населения в значительной мере определяются наличием и эффек-

тивностью использования ТЭР в энергетическом строительстве. Деятельность, направленная на повышение эффективности использования и внедрения энергетических ресурсов и стимулирование инновационной деятельности в области нетрадиционных и возобновляемых источников энергии (ВИЭ) обладает высоким потенциалом в решении Государственной Программы развития Республики Беларусь до 2020 года. В настоящее время достигнутые объемы использования ВИЭ в производстве энергии составляют 0.8% и в перспективе к 2020 г. планируется 2%, что не соответствует современным стремительно развивающимся высокотехнологичным отраслям экономически развитых стран. Использование ВИЭ обосновывается следующими факторами:

- развитием новых технологий, являющихся источниками экономического роста;
- сокращением зависимости от импорта энергоносителей;
- сокращением вредных выбросов в окружающую среду и обеспечением экологической безопасности;
- энергетика может быть одновременно устойчивой и экономически выгодной; и др.

Возобновляемая энергетика в Западной Европе успешно прогрессирует, снижая использование природного газа, за счет совершенствования технологий в энергетическом строительстве и снижения себестоимости, что приводит к приобретению странами большей энергетической независимости. Так, например, доля производства энергии из возобновляемых источников в Германии увеличилась в 3 раза за последние 10 лет и составляет около 13%. Опыт эксплуатации показывает, что использование ВИЭ является перспективным направлением энергообеспечения потребителей. Определенные результаты в использовании ВИЭ достигнуты в Беларуси. Так, например, введенная в эксплуатацию в д. Грабники Новогрудского района в 2011 г. ВЭУ мощностью 1,5 МВт работает эффективно и с высокой надежностью энергообеспечения. Показатели ее работы (выработка электроэнергии, коэффициент использования установленной мощности, среднечасовая мощность и др.) значительно превышают проектные.

Ввод в эксплуатацию Гродненской ГЭС мощностью 17 МВт в 7,7 раза увеличил коэффициент использования гидроэнергетического потенциала области. Такие показатели, как выработка элек-

троэнергии, коэффициент использования установленной мощности, среднегодовая нагрузка ГЭС превышают проектные, что подтверждает эффективность ее работы. Неоспоримым является и тот факт, что себестоимость электроэнергии, вырабатываемой ГЭС, в несколько раз ниже себестоимости электроэнергии, генерируемой тепловыми электростанциями. В настоящее время использование низкопотенциальной геотермальной энергии обеспечивается применением тепловых насосов, общее количество которых составляет около 1000 шт. На 13 объектах предприятия «Минскводоканал» внедрены тепловые насосы общей мощностью 1,6 МВт с суммарной выработкой теплоэнергии 1,7 тыс. Гкал. Самая крупная геотермическая установка мощностью 1-1,5 МВт для обеспечения тепличного комбината «Берестье» действует в пригороде г. Бреста (Припятская и Подляско-Брестская впадина), где наиболее благоприятные условия для использования потенциала подземного тепла (3-6 т у.т. на кв.м. поверхности).

Первая установка получения свалочного газа и производство из него электрической и тепловой энергии была введена на Витебщине на полигоне ТКО площадью свыше 7 га. На полигоне пробурено 29 скважин. По ним под воздействием вакуумного давления газовая смесь поступает в газовую станцию, а затем передается в газопоршневой агрегат. В процессе сжигания тепловая энергия преобразовывается в электрическую, которая через трансформаторную подстанцию передается в единую энергосистему. Попутно вырабатывается тепловая энергия, которую можно использовать на нужды отопления и горячего водоснабжения. Электрическая мощность объекта составляет 635 кВт.

Хорошими примерами повышения энергоэффективности и конкурентоспособности продукции могут служить разработанные ООО «МНВЦЭ «Энерготехно» проекты: строительство 1-й очереди когенерационной установки электрической мощностью 2,5 МВт на РУП «Гомсельмаш» и тригенерационного комплекса в ОАО «Могилевский завод «Электродвигатель» электрической мощностью 3,2 МВт.

Наиболее значимыми разработанными ВЭУ являются следующие.

В 2011 году была введена в эксплуатацию ВЭУ мощностью 1.5 МВт (Новогрудский район) со среднегодовой выработкой электроэнергии около 3,8 млн. кВт ч. Всего на территории Республики в настоящее время смонтировано 65 ВЭУ общей мощностью около 57 МВт.

В 2010 году в Солигорском районе введена в эксплуатацию отечественная гелиоводонагревательная установка тепловой мощностью 160 кВт. Аналогичная установка внедрена в пансионате «Озерный» Национального банка Республики Беларусь.

Ожидаемый ежегодный объем внедрения гелиоводонагревателей в республике при строительстве индивидуальных жилых домов в сельской местности, в том числе в агрогородках, составит около 1000 единиц.

В агрогородке Гиженка Славгородского района для освещения улиц используют энергосберегающие светодиодные лампы и светильники, работающие от фотоэлектрических преобразователей.

Уличное освещение на солнечных батареях обеспечивается преобразованием солнечной энергии в электрическую с ее последующим аккумулированием. С наступлением сумерек накопленная энергия используется для освещения прилегающей территории. Проведенный сравнительный анализ внедренного оборудования с традиционным наружным освещением показал ряд неоспоримых преимуществ, таких как полная автономность, длительный срок безотказной эксплуатации, отсутствие необходимости традиционного технического обслуживания, короткий срок окупаемости.

Для дальнейшего эффективного использования ВИЭ необходимо решить ряд других проблем, основными из которых являются следующие:

1. Требуется реальная государственная поддержка масштабных научных разработок по тематике альтернативной энергетики на основе отечественного научного и производственного потенциала.
2. Необходимо больше внимания уделять практической реализации наукоемких технологий использования ВИЭ.
3. Одной из первостепенных задач является разработка единой нормативной правовой базы развития возобновляемой энергетики в странах ЕврАзЭС и других государствах СНГ.
4. Следует обеспечить дальнейшее развитие возобновляемой энергетики на основе взаимовыгодного государственного и частного партнерства.
5. Необходима разработка высоких наукоемких технологий и инновационных проектов - с одной стороны и соответствующая поддержка инвесторов - с другой.
6. Нужна стройная система подготовки и повышения квалификации специалистов, способных эффективно использовать потенциал ВИЭ.

7. Необходимо рассмотреть пути развития партнерства с иностранными субъектами в контексте венчурного финансирования и активного привлечения иностранных инвесторов. Следует расширять хорошую практику на примере инкубатора Парка высоких технологий, оценить механизмы, используемые Национальным агентством инвестиций и приватизации в отношении вопросов, связанных с инновациями и инвестициями в наукоемкие проекты.

Сакович Е.А., ассистент, Вельченко А.А., к.т.н., доцент
Белорусский государственный аграрный технический
университет, г. Минск, Республика Беларусь

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ ДЛЯ ТЕПЛИЧНЫХ ХОЗЯЙСТВ

Ключевые слова: солнечные батареи, концентратор, трекер, склонение солнца.

Аннотация: В работе рассматривается повышения эффективности солнечных электростанция за счет изменения угла наклона солнечных панелей в сезонные времена года, а также использования акриловых концентраторных систем и системы слежения за Солнцем. Определены оптимальные углы наклона солнечной батареи в сезонные периоды года для областных центров Республики Беларусь.

Основная часть. Использование солнечных батарей позволяет теплице генерировать энергию без значительных конструктивных изменений, и при этом давая существенную экономию затрат на энергию. Зимой солнечные лучи как бы скользят вдоль поверхности земли. Остекление под углом позволяет максимально захватывать зимнее солнце (увеличение тепла зимой) и минимизировать летнее солнце (снижение перегрева летом). На наклонную поверхность (например, под углом 30° к югу) на широте Минска, в холодные месяцы года, падает солнечной энергии в среднем в 1,3 раза больше, чем на горизонтальную. Выигрыш большой, особенно утром и вечером, а дополнительных затрат не требуется. Когда солнце почти на горизонте, каждый градус наклона дает увеличение поступающей энергии в несколько раз.

Движение и высота Солнца над горизонтом рассчитывается по формуле:

$$h = 90 - \varphi + \delta,$$

где: φ – широта данного места, δ – склонение, угловое расстояние светила от небесного экватора.

Поскольку широта местности не меняется, из изменений высоты Солнца следует, что меняется его склонение. Широту местности приближенно для данного населенного пункта можно определить по географической карте, тогда по измерениям высоты h можно найти, что летом максимальное удаление от небесного экватора составляет $+23,5^\circ$, а в зимнее время равно $-23,5^\circ$. Также можно установить, что на небесном экваторе Солнце находится 21 марта и 23 сентября (дни равноденствия), в эти дни склонение Солнца равно 0° .

Например, нужно определить максимальную и минимальную высоту подъема Солнца над горизонтом для города Минска.

Северная широта Минска: $53^\circ 54''$

$h = 90^\circ - 53,5^\circ + 23,5^\circ = 60^\circ$ (в дни летнего солнцестояния);

$h = 90^\circ - 53,5^\circ - 23,5^\circ = 13^\circ$ (в дни зимнего солнцестояния);

$h = 90^\circ - 53,5^\circ + 0^\circ = 36,5^\circ$ (в дни весенне-осеннего солнцестояния).

Оптимальные значения углов наклона поверхностей τ выбираются по максимальному углу высоты Солнца в зимние месяцы для данного района. Предусматривается возможность регулировки наклона по сезону – меняется угол наклона вслед за солнцем. Угол наклона равняется примерно географической широте местности. Зимой угол увеличивают на 15 градусов. Летом наоборот уменьшают на 15 градусов.

Таблица 1. Географические параметры и оптимальный угол наклона солнечных панелей в сезонные периоды года для областных центров РБ

Областные центры РБ	φ	$h_{\max}$	$h_{\min}$	τ в летний период	τ в весенне-осенний период	τ в зимний период
Брест	$52^\circ 06''$	$61,5^\circ$	$14,5^\circ$	$46,5^\circ$	38°	$29,5^\circ$
Витебск	$55^\circ 10''$	$58,4^\circ$	$11,4^\circ$	$43,4^\circ$	$34,9^\circ$	$26,4^\circ$
Гомель	$52^\circ 25''$	$61,3^\circ$	$14,3^\circ$	$46,3^\circ$	$37,8^\circ$	$29,3^\circ$
Гродно	$53^\circ 41''$	$60,1^\circ$	$13,1^\circ$	$45,1^\circ$	$36,6^\circ$	$28,1^\circ$
Минск	$53^\circ 54''$	60°	13°	45°	$36,5^\circ$	28°
Могилев	$53^\circ 54''$	60°	13°	45°	$36,5^\circ$	28°

Для регулировки солнечных батарей и изменения угла наклона в разные сезоны года, необходимо использовать привод (солнечный трекер). Трекеры бывают активные, пассивные и с ручной наводкой. Принцип его действия основан на аналогово-цифровом сигнале платы управления, которая позволяет отказаться от использования микроконтроллеров и шаговых двигателей, позволяя снизить цену системы и упростить её, сохраняя качество и надёжность. Также используются оптические концевики и датчик света, которые позволяют установке эффективно ориентироваться на солнце, отключаться ночью и возвращаться на следующий день в исходное положение.

Повысить эффективность солнечных батарей можно с помощью концентрации солнечной энергии (использовать концентратор), который позволит собирать солнечную энергию с большей площади и направить её на меньшую площадь. Сейчас концентраторы представлены в основном параболическими зеркалами и линзами Френеля, но они не получили широко распространения из-за различных недостатков. Параболические зеркала очень большие и тяжёлые из-за своей конструкции, требуют очень точного ориентирования на солнце и систем охлаждения, иначе их эффективность крайне снижается. Линзы Френеля также имеют значительную толщину, требуют ещё более точного наведения и более мощного охлаждения, стоят дороже.

Акриловый концентратор представляет собой лист, большая часть состава которого оргстекло, толщиной около 1 сантиметра, состоящий из специальной светоотражающей поверхности, а также 2 клиньев, направленных наклонными плоскостями друг к другу и имеющими между собой зазор, заполненный специальным клеем. Концентратор позволяет собирать солнечную энергию со всей приёмной поверхности и направлять её в торцы, на которых расположены фотоэлементы, размер которых в разы меньше приёмной поверхности устройства, что позволяет достигать семи кратной концентрации с КПД 75% (рис.1).

Акриловый концентратор имеет ряд преимуществ: маленький вес и объём, сравнимый с обычными солнечными панелями; плоская форма и угол наклона, благодаря чему на концентраторе не собирается конденсат летом и снег зимой, что позволяет практически не обслуживать его; большая диаграмма направленности на солнце (возможны отклонения до 30 градусов по одной оси, тогда как у других концентраторов не более 0,5 градуса); не требует мощных

систем охлаждения, что снижает стоимость системы и увеличивает её надёжность.

Заключение. Использование энергии солнца позволит снизить энергетические затраты тепличных хозяйств в зимний период, а весенний, летний и осенний периоды использовать энергоустановку как основной источник питания.

Изменяя углы наклона солнечных батарей по временам года можно повысить эффективность солнечной установки до 20 %.

Использование одноосевого трекера позволяет увеличить эффективность работы на 30-35% для солнечных батарей и в несколько раз для концентратора. Применение же концентратора и трекера одновременно позволяет снизить стоимость солнечной энергии в несколько раз, вплоть до 0,9\$ за ватт солнечных установок с 17% КПД и сроком службы не менее 20 лет.

Селицкая О.Ю., ст. преподаватель
УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК НА ОСНОВЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В АПК РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, сельскохозяйственные потребители, энергоснабжение, стоимость тепловой и электрической энергии

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы использования возобновляемых источников энергии как источников автономного электроснабжения сельскохозяйственных потребителей

Проблемы истощения ископаемых видов топлива все больше и больше приобретают свою актуальность. Кроме этого, тенденция к постоянному росту стоимости традиционных энергоносителей, заставляет более интенсивно искать пути энергосбережения и освоения новых видов энергии, альтернативных традиционным источникам.

В настоящее время наибольший интерес представляет использование возобновляемых источников энергии (далее – ВИЭ). Особое

место среди таких источников отводится энергии Солнца, ветра и биотоплива. Применение ВИЭ изначально выгодно в силу их неисчерпаемости, определенной доступности (в благоприятных по географическому месторасположению районах) и выгодному использованию (в плотно заселенных районах и на небольших сельскохозяйственных объектах по выращиванию птицы и животных, и объектах, занимающихся растениеводством).

К основным достоинствам систем энергоснабжения на ВИЭ являются:

- месторасположение источников энергии находится максимально к потребителю, что дает возможность повысить надежность электро- и энергоснабжения;
- снижается стоимость энергии за счет отсутствия затрат на ее транспортировку;
- возможность создания комфортных жизненных условий для сельского населения, проживающего в удаленных от централизованного энергоснабжения местах;
- наличие дополнительных рабочих мест.

Несмотря на значительные плюсы использования возобновляемых источников энергии, широкое их применение связано с определенными проблемами. Плотность энергетических потоков ВИЭ достаточно низкая, тяжело управляемая и значительна по стоимости. Поэтому их невыгодно использовать широко в промышленности. Применение установок на ВИЭ, как было сказано выше, хорошо оправдывает себя в автономных системах энергоснабжения небольшой мощности, к которым можно отнести небольшие производственные объекты сельскохозяйственного назначения и фермерские хозяйства, которые имеют удаленность от энергосистем и обладающие небольшой установленной мощностью.

Современные условия электроснабжения удаленных сельскохозяйственных потребителей требуют значительных капитальных вложений на электрификацию этих объектов по традиционному пути, а небольшие производственные и коммунально-бытовые нагрузки сельскохозяйственных потребителей снижают коэффициент мощности питающих подстанций в тупиковых линиях электропередачи.

Поэтому применение альтернативных вариантов автономного электроснабжения на основе возобновляемых источников энергии является наиболее перспективным выходом из создавшейся ситуации.

Автономные системы электроснабжения имеют различную основу. Они могут строиться с использованием только автономной топливной электростанции, на аккумуляторах электрической энергии, на преобразователях энергии возобновляемых источников или на синтезе указанных вариантов.

Использование автономным систем электроснабжения на основе возобновляемых источников энергии в любом случае должно выполнять следующие условия [1]:

- надежность электроснабжения должна быть не ниже традиционной (или, не ниже заданной потребителем), но при этом пока нет четко выработанной методики определения параметров автономных энергоустановок на основе ВИЭ, которые способны обеспечивать заданную надежность электроснабжения при минимальных затратах;

- стоимость электроэнергии должна быть не выше стоимости электроэнергии при традиционном электроснабжении.

Отсюда следует, что так как реальная надежность традиционно электроснабжения достаточно высокая, то при выборе варианта электроснабжения решающим фактором будет стоимость электрической энергии. Поэтому автономная система электроснабжения на основе возобновляемых источниках энергии будет оправдывать себя только в том случае, когда будет ниже стоимость электроэнергии, вырабатываемой ею. Если принять во внимание, что все рассматриваемые системы альтернативного электроснабжения должны поставлять равное количество электрической энергии (то есть потребление электрической энергии не зависит от выбранной системы), то в качестве критерия оптимальности тогда учитывают полные затраты на электроснабжение.

Определенные проблемы в ценообразовании при использовании источников питания на возобновляемых источниках энергии отметил и министр энергетики Республики Беларусь, выступая на Белорусском энергетическом и экологическом форуме в октябре 2017 г.

В Беларуси прорабатываются новые подходы к развитию возобновляемых источников энергии, такое заявление сделал министр энергетики, выступая на Белорусском энергетическом и экологическом форуме.

Министр отметил, что подготовленные по этому вопросу Министерством энергетики предложения, нашли поддержку у правительства республики и у заинтересованных, что позволит данным мероприятиям в скором времени быть реализованными на практике

и позволит сбалансировать дальнейшее развитие белорусской энергосистемы с учетом роста развития возобновляемой энергетики.

На сегодняшний день мощность ВИЭ, отпускающих электроэнергию в сеть без учета организаций ГПО «Белэнерго», составляет 262 МВт. К 2020 году прогнозируется увеличение до 793 МВт, то есть объем отпуска в сеть электроэнергии от применения установок, работающих на ВИЭ, возрастет к существующему уровню в 7,4 раза (до 1,7 млрд. кВт·ч), что «Это приведет к увеличению затрат энергоснабжающих организаций на покупку электроэнергии с \$ 40 млн. до \$ 324 млн., а также к росту себестоимости 1 кВт·ч на 1 цент и, как следствие, увеличение тарифов на электроэнергию для потребителей».

Согласно Указу Президента Республики, Беларусь № 209 от 18 мая 2015 г. «Об использовании возобновляемых источников энергии» [2], в целях совершенствования единой государственной политики в сфере использования возобновляемых источников энергии, устанавливается, что:

- создание новых, модернизация, реконструкция действующих установок по использованию возобновляемых источников энергии осуществляется в пределах квот (суммарная электрическая мощность установок по использованию ВИЭ, создаваемых в Республике Беларусь, которая устанавливается по видам ВИЭ на определенный период времени) на создание установок по использованию ВИЭ;

- размеры коэффициентов, применяемых при установлении в соответствии с законодательством тарифов на электрическую энергию, произведенную из ВИЭ и приобретаемую энергоснабжающими организациями дифференцируется в зависимости от вида ВИЭ, электрической мощности, фактического срока службы оборудования установок по использованию ВИЭ на день ввода указанных установок в эксплуатацию.

Согласно Закону Республики Беларусь от 27 декабря 2010 г. №204-З «О возобновляемых источниках энергии» предусмотрен порядок формирования цены на возобновляемые источники энергии и тарифы на энергию, производимую из возобновляемых источников энергии.

Так, в соответствии со ст.20 Закона №204-З, тарифы на энергию, производимую из возобновляемых источников энергии и приобретаемую энергоснабжающими организациями, устанавливается на уровне тарифов на электрическую энергию для промышленных и приравненных к ним потребителей с присоединенной мощностью

до 750 кВ·А с применением повышающих коэффициентов, дифференцированных в зависимости от вида возобновляемых источников энергии:

- в первые 10 лет со дня ввода в эксплуатацию установки по использованию ВИЭ – с коэффициентом 1,3;

- последующие 10 лет эксплуатации установок – с коэффициентом 0,85;

- в случаях финансирования строительства объектов, производящих электрическую энергию из нетрадиционных и возобновляемых источников энергии с использованием средств республиканского и (или) местных бюджетов, применяются коэффициенты:

- первые 10 лет со дня ввода в эксплуатацию – 0,85;

- свыше 10 лет эксплуатации – 0,7.

Эффективность внедрения электроустановок на возобновляемых источниках энергии включает энергетическую, экологическую и агротехническую эффективность. Под энергетической эффективностью понимается выгода от использования источника для выработки электрической и тепловой энергии за исключением расхода на собственные нужды установок. Для потребителя энергетическая эффективность определяется сэкономленной электрической и тепловой энергией, а также сроком окупаемости затрат. Для возобновляемой и традиционной энергетики удовлетворительный срок окупаемости затрат составляет 8 лет.

Срок окупаемости энергоустановки, предназначенной для выработки электрической и тепловой энергии на ВИЭ, можно определить из выражения [2]:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K}{S} = \frac{K}{(S_{\text{эл}} + S_{\text{тепл}}) + \sum S_i - \sum Z_i} = \frac{K}{(S_{\text{эл}} + S_{\text{тепл}}) + (1 + k_s - k_z)}, \quad (1)$$

где K - капитальные затраты, дол. США, которые состоят из емкости оборудования (75%) и затрат на создание инфраструктуры (стоимость фундамента 5-7%, стоимость электрической линии и трансформаторной подстанции 5-8%, транспортировка и монтаж оборудования 6-8% и т.д.); S - общий экономический эффект; $S_{\text{эл}}$ - стоимость вырабатанной и используемой для собственных нужд предприятия или для продажи другим организациям (энергосистеме) электроэнергии за вычетом расхода на собственные нужды электроустановки или комплекса (электропривод механизмов, электроподогрев), дол. США; $S_{\text{тепл}}$ -

стоимость выработанной и используемой для собственных нужд предприятия или для продажи другим организациям (энергосистеме) тепловой энергии за вычетом расхода на собственные нужды комплекса (технологический нагрев, потери теплоты через ограждающие конструкции), дол. США; $\sum S_i$ - дополнительная выгода от сокращения выброса парниковых газов, увеличения продажи удобрений, повышения урожайности, снижения количества применяемых минеральных удобрений, уменьшения стоков, дол. США;

$k_s = 5\text{-}25\%$ (или $0,05\text{-}0,25$ о.е.) – коэффициент, учитывающий эту дополнительную выгоду;

$\sum Z_i$ - дополнительные суммарные эксплуатационные затраты на обслуживание электроустановки или комплекса, закупку сырья, амортизационные расходы, налоги, отчисления на погашение процентной ставки за кредит и за эксплуатацию электросетей, дол. США; $k_z = 5\text{-}25\%$ (или $0,05\text{-}0,25$ о.е.) – коэффициент, учитывающий эти дополнительные затраты.

Годовое производство электроэнергии, экономический эффект от продажи или использования электро- и тепловой энергии можно определить [2]:

$$W = P_n K_i \cdot 8760, \quad (2)$$

$$S_{эл} = W C_A, \quad (3)$$

$$S_{тепл} = Q C_{тепл}, \quad (4)$$

где $C_{тепл}$ - тариф на тепловую энергию; Q - отпуск тепловой энергии; K_i - коэффициент использования номинальной мощности установки (отношение фактически выработанной энергии, которое могло бы быть произведено электроустановкой при номинальных условиях в течение всего года; C_A - тариф на электроэнергию (стимулирующий тариф для производителей электрической энергии на возобновляемых источниках, в Республике Беларусь составляет около $0,13$ дол. США/(кВт·ч)).

Полностью от традиционного энергоснабжения сельскохозяйственных потребителей отказаться нельзя, но в целях экономии традиционных видов топлива, при положительном технико-

экономическом обосновании использования энергетических установок на ВИЭ, их успешно можно применять, как автономные источники питания.

ЛИТЕРАТУРА

1.Воронин, С.М. Возобновляемые источники энергии и энергосбережение / С.М. Воронин, С.В. Оськин, А.Н. Головкин – ФГОУ ВПО Куб ГАУ, Краснодар, 2006. – 267 с.

2. Олешкевич, М.М. А.С. Возобновляемые источники энергии в электроэнергетике Беларуси / М.М. Олешкевич, А.С. Руденя – Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ – Энергетика, - 2014. - №3.

Синица С.И., ст. преподаватель

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

РАЗДЕЛЬНЫЙ СБОР И ПЕРЕРАБОТКА МУСОРА – ВТОРИЧНЫЕ ТЕПЛОВЫЕ РЕСУРСЫ

Ключевые слова: вторичное сырье

Аннотация. Переработка бытовых отходов – высокорентабельная отрасль промышленности, которая при невысоких финансовых вложениях позволяет получать стабильную прибыль.

Ежегодно в Беларуси образуется более 3 млн. тонн бытового мусора. Станции, сортирующие бытовой мусор, перегружены, причем, с каждым годом этот объем возрастает как минимум на 20 %. Мусороперерабатывающие предприятия в силах справиться лишь с 338,7 тыс. тонн в год, остальные 2,62 млн. тонн просто «хоронятся» на спецполигонах. Переработка мусора в Беларуси остается «сферой высоких технологий».[1]

В Беларуси за январь-июнь 2017 года заготовлено 297,7 тыс. т вторсырья, или 102,3% по сравнению с аналогичным периодом прошлого года. В том числе отходы бумаги и картона составили 151,8 тыс.т, стекла - 86 тыс.т, полимеров - 33,8 тыс.т, изношенных шин - 19,5 тыс.т, отработанных масел - 4,5 тыс.т, отходы электрического и электронного оборудования - 2,1 тыс.т.[2]

Пищевые отходы стали одним из энергетических ресурсов Берестовского мусороперерабатывающего завода. Они отправляются в

специальный отсек, где сбраживаются, очищаются и превращаются в биогаз. Аналогичная система сбраживания есть на заводе и для илистых отложений, которые поставляются с очистных сооружений. В итоге из специального хранилища биогаз поступает на местную мини-ТЭЦ. Там он сжигается и вырабатывает электроэнергию. За счет сжигания биогаза завод полностью обеспечивает себя электроэнергией и теплом (за год таким образом получается 11 тысяч мегаватт-час электроэнергии). Причем на это уходит только четверть от получаемого объема энергии. Остальное продают в сеть РУП «Брестэнерго» как «зеленую» энергию. К примеру, за 2015 год предприятие выработало из органических отходов 1,66 миллиона кубических метров биогаза.[3]

Мусороперерабатывающие предприятия функционируют практически во всех крупных и средних городах нашей страны. Большая часть станций, а их насчитывается 88, занимается сортировкой бытовых отходов, собранных по технологии раздельного сбора мусора. В данном процессе уже задействовано 85% населения многоэтажного жилищного фонда. Их дома оснащены контейнерами для дифференцированного сбора мусора.

Показатель охвата населения достаточно высок. Но все еще мало людей заинтересовано в раздельном сборе мусора. Для того чтобы исправить ситуацию, необходима техническая база, которая позволит расширить количество и спектр перерабатываемых отходов.

К примеру, упаковка тетрапак в нашей стране не подвергается переработке. Для ее термического разложения необходимы технологии, применяемые для получения теплоты и электричества. Доля этого вида упаковки в общем количестве бытовых отходов достаточно велика, так как она используется при производстве молочных, сокосодержащих и спиртных напитков.

Сейчас в качестве вторсырья в Беларуси востребована бумага - она нужна всем бумажно-целлюлозным предприятиям. Также пользуется спросом стекло. Но, учитывая специфику производства, необходима дифференциация по цвету и качеству - в результате объем переработки боя невелик.

Для переработки мусора необходимы:

производства, которые имеют возможность трансформирования отходов в ходе повторного использования;

разработанные технологии и процессы переработки;

существование производств, нуждающихся во вторсырье;

добросовестная работа центров по разделению мусора.

Технология по раздельному сбору и сортировке мусора дает улучшение экологической обстановки, меньше отходов попадает на полигон, постепенно ликвидируются свалки, которые отрицательно влияют на здоровье людей, животных, окружающей природы; выделение полезных фракций, которые после переработки могут повторно использоваться в технологических процессах.

Основные элементы стратегии должны включать следующие мероприятия:

1. Захоронение на полигонах продолжает оставаться необходимым для отходов, не поддающихся вторичной переработке, поэтому необходимо проектирование и строительство новых полигонов ТБО. Современные "санитарные" полигоны, отвечающие экологическим требованиям, представляют собой сложнейшие инженерные сооружения, оборудованные системами борьбы с загрязнениями воды и воздуха, использующие образующийся в процессе гниения мусора метан для производства тепла и электроэнергии. Поэтому такой полигон необходимо проектировать и строить.

2. Проектирование и строительство полигонов для компостирования. Компостирование - это технология переработки органических отходов, основанная на их естественном биоразложении.

3. Запрещение захоронения тех видов отходов, которые могут быть подвергнуты вторичному использованию. Ввести административные меры. Даст эффект при усилении борьбы с несанкционированными свалками.

4. Организация постоянно действующих пунктов по сбору или проведение специальных дней сбора токсичных отходов во всех районах республики. Выкупать опасные отходы (батарейки, лампы дневного света и т.п.) у владельцев приемных пунктов за разумную цену, это повысит эффективность сбора токсичных отходов.

5. Использование спрессованных в брикеты отходов для восстановления нарушенных природных ландшафтов вокруг города. Укладка брикетами с мусором выработанных карьеров, которые в последующем, засыпанные компостом и плодородной землей, могут быть превращены в зеленые луга, леса и парки.

6. Реализация на начальном этапе недорогих проектов - пилотной программы раздельного сбора и переработки вторсырья в одном из районов города либо программы по сбору одного или двух видов вторсырья по городу. Это позволит создать организацион-

ную структуру, необходимую для осуществления подобного рода деятельности, а также вовлечь население в этот процесс.

Все вышеперечисленные мероприятия уже много лет реализуются за рубежом. Наша задача - внедрить все это в нашей стране.

ЛИТЕРАТУРА

1. <http://brest.greenbelarus.info>
2. <http://www.belta.by/society/view/belarus-lidiruet-v-sng-po-razdelnomu-sboru-musora-261813-2017/>
3. bmpz.by/edinstvennyj-v-strane-kak-brestskij-zavod-prevrashhaet-produkty-iz-magazi

**Сычик В.А.¹, д.т.н., профессор, Русан В.И.², д.т.х.н., профессор,
Уласюк Н.Н.¹, PhD**

**¹Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь**

**²УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь**

СИНТЕЗ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПОЛУПРОВОД- НИКОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ИЗЛУЧЕНИЙ

Ключевые слова: Полупроводниковый преобразователь, электрическая модель, интегральная технология, характеристики, синтез, структура, источник тока.

В связи с эффективным внедрением интегральной технологии в производство многофункциональных измерительных преобразователей, сформированных на основе полупроводниковых приборных структур, резко возрастает количество пленочных компонентов. В процессе разработки измерительных преобразователей возрастает необходимость анализа и параметрической оптимизации переходных характеристик таких структур.

Решение данных вопросов при минимальных вычислительных затратах производим с помощью макромодулей полупроводниковых ИП, воспроизводящих с достаточной степенью адекватности поведение схемы ИП для входных, передаточных и выходных характеристик.

При формировании электрической модели ПИП тепловых излучений используем принципы упрощения, на основании которых синтезируем формальные и блочные их макромоделей.

Обобщенную схему формальной модели ПИП формируем из следующих блоков (рис. 1,а): входного, реализующего динамические входные характеристики и функцию преобразования; промежуточного, обеспечивающего заданные динамические характеристики и статическую передаточную характеристику; выходного, воспроизводящего выходную характеристику. При этом входные и выходные блоки представляют соответственно входные и выходные цепи моделируемых элементов базисов преобразователей, а промежуточный блок описывается аналитическими выражениями или эквивалентными схемами. Поскольку входные характеристики ИП имеют обычно нелинейный комплексный характер, то генератор тока с входным сопротивлением должен выражаться функцией вида $R_{вх} = f(U_{вх}, t)$.

Электрическую модель преобразователя тепловых излучений (ПТИ) (рис. 1,б) формируем в соответствии со структурной схемой (рис.1,а).

Схема входного блока ПТИ (рис.1,г) включает $R_{вх} = R_{вх\ н} + R_{вх\ у}$ и источник тока $I_{вх}$. Составляющая $R_{вх\ у}$ отражает характер изменения электрических свойств входного блока при воздействии преобразуемого теплового излучения $N_{Z(вх)}$, а $R_{вх\ н}$ - независимая от преобразуемого воздействия составляющая, учитывающая изменения параметров других элементов блока. Промежуточный блок (элементы E_1, R_1, C_1) реализует передаточную и переходную характеристики. Динамические свойства схемы ПТИ реализуются в блоке задержек макромоделей, который в соответствии со статической передаточной характеристикой определяет длительность задержки выходного сигнала ИП.

Выходной блок, основной функцией которого является воспроизведение статических выходных характеристик $I_{вых} = f(U_{вых})$, как обязательный элемент содержит источник тока $I_{вых}$, задающий соответственно выходной ток. В схему замещения также входит выходное сопротивление $R_{вых}$, изменение которого учитывается путем включения в выходную цепь зависимого источника напряжения E_2 .

Для создания макромоделей полупроводниковых измерительных преобразователей способом исключения отдельных компонен-

тов из схемы ИП в различных режимах работы используем теорию чувствительности [1]. При формировании макромоделей ИП тепловых излучений интенсивности $N_{\text{вх}}$ (рис.1,б) производим сравнение чувствительности выходного напряжения со всеми параметрами элементов схемы ИП для 3-х участков статической передаточной характеристики $U_{\text{вых}} = f(N_{\text{вх}})$ (1,2,3). Для каждого участка выделяем главные элементы, чувствительность которых намного выше, чем других. Главные элементы затем включаем в макромодель, а вспомогательные не рассматриваются.

Формальную электрическую модель многовходового ПТИ с логической функцией преобразования описываем статической $I_{\text{вх } i}(U_{\text{вх } i})$ и динамической $I_{\text{вх } i}(U_{\text{вх } i}, dU_{\text{вх }} / dt)$ - входной характеристиками, статической передаточной характеристикой при холостом ходе на выходе

$$U_{\text{вых } j}(U_i) i = 1 \div m, j = 1 \div n.$$

Структура синтезированной формируемой макромоделей многовходового ПТИ представляет эквивалентную схему m -входных и n -выходных блоков (рис.1,д). Источник тока $I_{\text{вх } i}$ моделирует статическую емкость $C_{\text{вх } i}$ - динамическую входную характеристику ИП. Источник напряжения E_i моделирует статическую передаточную характеристику $U_{\text{вых}}(U)$, где определяющее напряжение U есть функция входных переменных. С помощью выходной $R_j C_{\text{вых } j}$ - цепи моделируется переходная характеристика j -го выхода. Значение напряжения источника равно напряжению на емкости, а в статическом режиме – напряжению источника E_i . Источник тока $I_{\text{вых } j}$ позволяет учесть нагрузочную способность элемента.

Все блоки, моделирующие статические характеристики ПТИ, описываются кусочно-линейными функциями типа $y = a_k x + b_k$, $k = 1 \dots k$, где

y - любая из функций, описывающих $I_{\text{вх } i}$, E_j , $I_{\text{вых } j}$;

x – соответствующие им аргументы $U_{\text{вх } i}$, $U_{\text{вых } j}$, U .

Чтобы с достаточной степенью точности смоделировать переходную характеристику ИП выделяем на ней несколько характерных участков, в каждом из которых задаем свою постоянную времени $\tau_j = R_j C_{\text{вых } j}$, причем обычно $R_j = \text{const}$, $C_{\text{вых } j} = \text{var}$.

Если достигнутая с помощью формальных макромоделей точность расчета невысока, используем адекватные (блочные и схем-

ные) макромоделли, синтез которых в общем случае проводим на основе снижения порядка алгебродифференциальных уравнений, описывающих статику и динамику ИП.

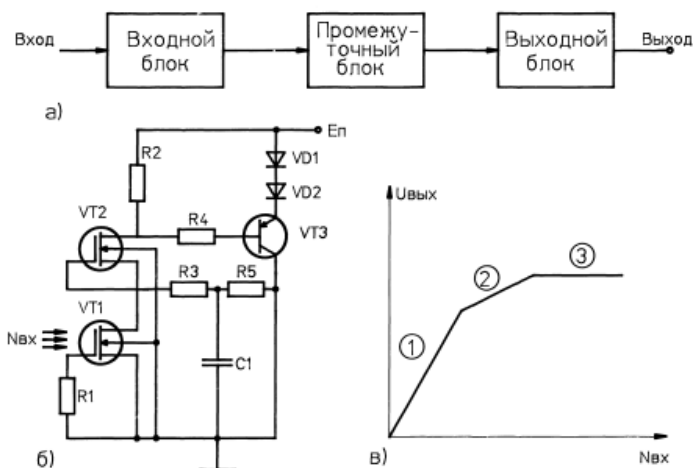


Рисунок 1. а) обобщенная структурная схема формальной модели ПИП;
 б) - электрическая схема формальной модели ПТИ;
 в) - передаточная характеристика формальной модели ПТИ;

Таким образом, электрические модели полупроводниковых преобразователей тепловых излучений позволяют эффективно использовать методики поэтапного проектирования, что обеспечивает объединение схемотехнического и логикофункционального этапов проектирования, причем необходимая часть структуры ИП может моделироваться на компонентном уровне, а другая – на уровне функциональных макромоделей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бубенников А.Н. Физическое моделирование и технология полупроводниковых приборов и интегральных схем. – М.: Высшая школа, 1989. – 360 с.
2. Сычик В.А. Измерительные преобразователи излучений на основе полупроводниковых приборных структур. – Мн.: Вышэйшая школа, 1991. – 179 с.

Сычик В.А.¹, д.т.н., профессор, Русан В.И.², д.т.н., профессор,
Уласюк Н.Н.¹, PhD

¹Белорусский национальный технический университет, Минск,
Республика Беларусь

²УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь

УСТРОЙСТВО КОНТРОЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

Ключевые слова: Электрическое поле, устройство, образец, электрод, контроль, схема, диэлектрическая проницаемость, нагрузка, сигнал.

Анотация. В докладе представлено устройство точного контроля напряженности электрических полей и их градиентов путем наведенного потенциала на помещенном в электрическое поле измерительном электроде. Приведена электрическая схема устройства.

Все методы бесконтактного контроля параметров электрических цепей можно классифицировать по физическому эффекту, используемому для определения величины постоянного тока. Наибольшее распространение для бесконтактного контроля величины постоянного напряжения и тока получили методы и основанные на них устройства, использующие точную оценку излучаемых от поверхности образцов электрических полей.

Как известно, металлический образец, к которому подведено напряжение постоянного тока U , излучает электрическое поле

$$E = \frac{CU}{\varepsilon\varepsilon_0}, \quad (1)$$

где $\varepsilon\varepsilon_0 = \varepsilon_a$ - абсолютная диэлектрическая проницаемость; C - емкость металлического образца относительно земли.

Поскольку

$$E = f(X) = \frac{q}{4\pi\varepsilon_a X^2}, \quad (2)$$

то с учетом (1) можно представить $U = kE$, где k – коэффициент пропорциональности, учитывающий вариацию расстояния между поверхностью образца и измерительным электродом.

Разработана методика точного контроля интенсивности электростатического поля путем оценки наведенного потенциала на помещенном в электрическое поле измерительном электроде /1,3/.

Принцип точной оценки электростатических полей реализуется устройством, структурная схема которого представлена на рис.1. В зону действия электростатического поля помещают измерительный электрод, выполненный из электропроводного материала обычно дисковой формы, а перед ним, со стороны действующего электрического поля, размещают второй электрод, площадь которого не меньше площади измерительного электрода, также выполненный из электропроводного материала. Измерительный электрод гальванически соединяют с нагрузкой – управляющим электродом МДП-триодной структуры и посредством контактной группы электродного коммутатора соединяют с землей. Посредством другой контактной группы того же электронного коммутатора соединяют экранирующий электрод с землей. В неинвертирующую выходную цепь МДП-триодной структуры включают нагрузку, обычно резистивную, которую соединяют электрически с измерительным прибором, содержащим усилитель.

Осуществляют периодическое экспонирование и экранирование измерительного электрода. На стадии экспонирования, когда контактные группы электронного коммутатора отключают экранирующий и измерительный электроды от земли, экранирующий электрод является прозрачным для внешнего электростатического поля E , создаваемого источником постоянного напряжения и тока, т.е. не влияет на величину действующего на измерительный электрод поля E , и на нем возникает наведенный заряд

$$Q = \varepsilon_a ES ,$$

который создает потенциал $\varphi = \varepsilon_a EC ,$

где ε_a - абсолютная диэлектрическая проницаемость среды; E - напряженность электрического поля источника постоянного напряжения, действующая на экранирующий электрод; C - суммарная емкость измерительного электрода и МДП-триодной структуры.

$$I = dQ / dt \cong \varepsilon_a S dE / dt = U / Z_{вх.} \cong \Delta Q / \Delta t, \quad (3)$$

а напряжение во входной цепи $U_{вх.} = I \cdot Z_{вх.}$,

где U - мгновенное значение напряжения на измерительном электроде, $Z_{вх.}$ - полное входное сопротивление МДП-триодной структуры.

Структурная схема методики точного контроля электростатических полей

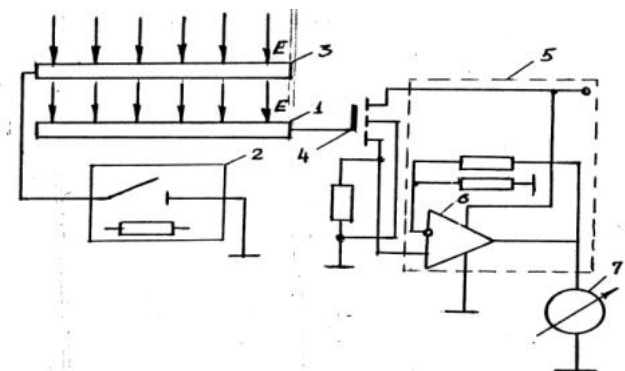


Рисунок 1

1 - измерительный электрод; 2 - электронный коммутатор; 3 - экранирующий электрод; 4 - МДП-транзистор; 5 - измерительный прибор; 6 - электронный усилитель; 7 - измерительная головка

Ток, создаваемый в нагрузке - входной цепи МДП-триодной структуры, в результате периодического экранирования и экспонирования измерительного электрода

$$I = \Delta Q_+ / \Delta t_1 + \Delta Q_- / \Delta t_2, \quad (4)$$

где $\Delta t_1 = t_{es}$ - время экспонирования измерительного электрода;

$\Delta t_2 = t_{ek}$ - время экранирования измерительного электрода.

Напряжение на нагрузке-затворе МДП-триодной структуры, соответствующее разности потенциалов корпус - измерительный электрод U_o , пропорционально напряженности электрического поля E

$$U_o = K_1 E. \quad (5)$$

При использовании линейной области сток-затворной характеристики МДП-транзистора в выходной его цепи протекает ток, пропорциональный напряженности измеряемого электростатического поля, т.е.

$$I_{вых.} = S U_o = K_1 S E, \quad (6)$$

где K_1 – коэффициент пропорциональности; S – крутизна сток-затворной характеристики МДП-транзистора.

Протекающий ток $I_{вых.}$ создает в истоковой цепи выходной сигнал, пропорциональный контролируемой напряженности электростатического поля

$$U_{вых.} = I_{вых.} \cdot R_H = K_1 S R_H E = K_2 E. \quad (7)$$

Выходной сигнал поступает на вход измерительного прибора, где усиливается и регистрируется стрелочным измерительным устройством, либо на цифровом табло в виде точного значения напряженности электростатического поля.

Разработаны устройство и эффективная методика точного контроля напряженности электрических полей и их градиентов путем оценки наведенного потенциала на помещенном в электрическое поле измерительном электроде.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авт. свид. СССР 1818599, G01 R29/12, 1993. Способ измерения напряженности электрического поля/ В.А.Сычик, И.И.Герасимов, И.В.Степанюк и др.
2. Кочнева А.Г., Сычик В.А. и др. Новые типы преобразователей электрических полей / Экспресс-информация БелНИИНТИ, сер.85. – Мн., 1987. – 56 с.

Thomas M.F.¹, Болодон В.Н.², к.д.ф.-м.н., доцент, В.П. Дымонт,
к.ф.-м.н., доцент, Б.В.Корзун², к.ф.-м.н., доцент, Т.М.Ткаченко²,
к.ф.-м.н., доцент.

¹*Department of Physics, Oliver Lodge Laboratory, University
of Liverpool, ENGLAND*

²*УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь*

ИССЛЕДОВАНИЕ CuInS_2 , ЛЕГИРОВАННОГО ОЛОВОМ

Ключевые слова: алмазоподобные полупроводники I-III-VI₂, CuInS_2 , эффект Мессбауэра.

Аннотация. В работе методом эффекта Мессбауэра на олове исследованы дефекты структуры алмазоподобного полупроводника CuInS_2 , легированного оловом. Показано, что дефектность материала возникает в случае легирования оловом сверх стехиометрического состава образца в отличие от случая легирования оловом в пределах стехиометрии. Отжигом CuInS_2 можно добиться снижения дефектности структуры.

1. Введение.

Солнце является самым мощным, экологически чистым, естественным и общедоступным источником энергии, которую уже используют в АПК в виде тепловой через применение различных термосистем. Однако более эффективный путь - преобразование солнечной энергии в электрическую в фотоэлементах. Для решения таких задач алмазоподобные полупроводники I-III-VI₂ в том числе CuInS_2 , обладают рядом перспективных особенностей [1-2]. На базе монокристаллических CuInSe_2 , CuGaSe_2 и CuInS_2 уже созданы солнечные элементы с к.п.д., достигающим 15%. Кроме того, возможно их использование для светоизлучающих диодов, инжекционных лазеров, для создания оптических светофильтров.

Однако, при любом практическом использовании этих материалов, необходима воспроизводимость их физических и физико-химических свойств. Эти свойства во многом определяются наличием дефектов в структуре и их состоянием. Поэтому фундаментальные научные задачи по исследованию структуры и дефектно-

сти этих материалов важны с точки зрения будущего практического применения.

В литературе наиболее исследованными материалами этого класса являются $\text{Cu}_2\text{S-In}_2\text{S}_3$, $\text{Cu}_2\text{Se-In}_2\text{Se}_3$, $\text{Cu}_2\text{Te-In}_2\text{Te}_3$, для которых построены фазовые диаграммы, дающие представление об областях существования тройных соединений CuInS_2 , CuInSe_2 и CuInTe_2 , соответственно. Область гомогенности всех этих соединений, как правило, сдвигается в сторону двойных соединений III_2VI_3 . Поскольку в кристаллах сложного состава возможно разное локальное состояние примесных атомов, что сказывается, в частности, на параметрах мессбауэровского спектра, то применение высокоточного метода эффекта Мессбауэра для изучения полупроводниковых материалов может дать сведения о распределении электронной плотности вблизи примесного атома, химических связях и другую ценную информацию.

Так как взаимосвязь между кристаллической структурой и химическим составом тройных полупроводников CuInS_2 точно не изучена, задача работы - применить метод эффекта Мессбауэра для исследования локального и электронного состояния примесных атомов олова в тройном соединении CuInS_2 различных составов и выявить влияние состава и способа получения полупроводника на дефектность его структуры.

2. Эксперимент.

Исследовались поликристаллические образцы полупроводника CuInS_2 трех различных составов. Прямым синтезом из компонент были получены образцы составов: №1 $\text{CuInS}_{1.96}\text{Sn}_{0.04}$ (стехиометрическое соотношение) и №2 $\text{CuInS}_2\text{Sn}_{0.04}$ (сверхстехиометрический). Образец №3 имеет сверхстехиометрический состав $\text{CuInS}_2\text{Sn}_{0.04}$, совпадающий с составом образца №2, но отличается способом получения (в две стадии). Прямым сплавлением исходных компонентов был синтезирован тройной полупроводник CuInS_2 , затем полученный стехиометрический образец был дополнительно отожжен в парах олова. Сплавлились прессованные порошки исходных компонентов (чистотой осч), взятые в количествах, рассчитанных для получения нужного состава. За сплавлением следовал 120 часовой отжиг с целью гомогенизации раствора с последующим медленным охлаждением до комнатной температуры. Часть олова замещали обогащенным изотопом ^{119}Sn .

Все образцы по данным рентгеновского фазового анализа являлись однофазными, кристаллизовавшимися в структуре халькопирита, элементарную ячейку которого можно представить как удвоенную по высоте ячейку сфалерита.

Мессбауэровский эксперимент проведен в обычной геометрии прохождения и режиме постоянных ускорений. Источником мессбауэровского гамма-излучения служил $\text{Ca}^{119\text{m}}\text{SnO}_3$. Паспортная ширина линии стандартного поглотителя толщиной $0,4 \text{ мг } ^{119}\text{Sn}/\text{см}^2$, составляла $0,92 \text{ мм/с}$. Толщина каждого мессбауэровского образца не превышала допустимой для работы в приближении «тонкого» поглотителя. Для каждого образца измерения проведены при температурах 300K и 77K , экспериментальные спектры обработаны с использованием программ FfitA и FCFCORE_3.

3. Результаты и обсуждение.

Мессбауэровский спектр стехиометрического образца №1 при температуре 77K представляет собой одиночный дублет с параметрами, характерными для двухвалентного олова в соединениях со смешанной ионно-ковалентной химической связью. ($\text{ИС} \approx 2,4 \text{ мм/с}$ и $\text{КР} \approx 1,00 \text{ мм/с}$). Отсутствие сложной структуры спектра образца №1 отличает его от спектра, приведенного в [4] для стехиометрического образца CuAlS_2 . Ширина линии поглощения при $T=77\text{K}$ больше паспортной ширины линии при комнатной температуре, что соответствует известному соотношению для интегрального поглощения на олове:

$$A_{\text{exp.}} = A_0(2 + 0,27t_a), \text{ где } t_a = y_0 f' n_a.$$

В спектре этого образца при температуре 300K присутствуют два подспектра, одиночная и квадрупольно расщепленная ($\text{КР} = 0,68 \text{ мм/с}$) линии. Очевидно, что олово, кроме расчетных позиций серы, может частично попадать в позиции индия.

Спектры образца сверхстехиометрического состава №2 при обеих температурах представляют собой сложную картину, которая описывается тремя дублетами с различными величинами изомерных сдвигов и квадрупольных расщеплений.

Параметры первого подспектра в спектре образца соответствуют двухвалентному состоянию олова, параметры второго подспектра - соответствуют четырехвалентному состоянию олова в позициях индия, аналогичному состоянию олова в стехиометрическом

образце. Параметры третьего подспектра соответствуют олову в составе фазы SnS.

В этом случае, мессбауэровские данные позволяют предположить, что олово может занимать те же позиции атомов серы и индия основной структуры, так как параметры двух дублетов близки. Разброс говорит о большом числе возможных вариантов заполнения различными атомами ближайших к резонансному атому позиций.

Спектры образца №3 при $T=77\text{K}$ и $T=300\text{K}$ также обработаны в модели 3-х подспектров. Одиочная линия, шириной 1.32мм/с , имеет изомерный сдвиг существенно отличающийся от ИС одиочной линии в образце №2. Параметры дублетов подобны. Однако относительные интенсивности дублетов в спектрах образцов №2 и №3 существенно различаются. В спектре сверхстехиометрического образца, полученного из компонентов, преобладают подспектры, которые мы связываем с оловом в позициях индия и фазой SnS. В образце, полученном через промежуточное образование CuInS_2 , преобладает подспектр, соответствующий двухвалентному олову в тройном соединении.

Заключение.

Показано, что дефектность структуры CuInS_2 с примесью олова определяется составом образца, а не наличием олова в составе. В $\text{CuInS}_2\text{Sn}_{0.04}$ (сверхстехиометрический состав) атомы олова создают дополнительные дефекты в решетке халькопирита по сравнению с полупроводником $\text{CuInS}_{1.96}\text{Sn}_{0.04}$ (стехиометрическое соотношение), содержащим примесь олова в пределах стехиометрического состава. Вторым важным фактором, определяющим совершенство структуры полупроводника в случае сверхстехиометрического содержания олова, является технология его получения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Lev I. Berger. Semiconductor materials / Lev I. Berger - CRC Press, 1997 - 449p.
2. Shay J.L. Ternary Chalcopyrite Semiconductors: Growth, Electronic Properties and Applications / Shay J.L., Wernick J.H. - New York: Pergamon Press, 1975. – 244 p.
3. Brent Fultz. “Mössbauer Spectrometry” [электронный ресурс] / in Characterization of Materials: John Wiley & Sons, New York, 2011. DOI: 10.1002/0471266965.com069.pub2

4. B.V.Korzun. ^{57}Fe and ^{119}Sn Mossbauer spectroscopy of the CuAlS_2 chalcopyrite semiconductor / B.V.Korzun, V.A.Virchenko, V.N.Yakimovich. // J. Cryst Growth. -1999. -V.198-199 - P.821-824.

**Халимов Г.Г., к.ф.-м.н., доцент,
Садыков Ж.Д., ст. преподаватель, Захирова Ш.М., преподаватель.
«Каршинский государственный университет», г. Карши,
Узбекистан**

ТЕПЛООБМЕН И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЯХ С ПОДПОЧВЕННЫМ АККУМУЛЯТОРОМ ТЕПЛА

Ключевые слова: математическая модель, сельскохозяйственное сооружение, теплообмен, аккумулятор тепла.

Аннотация: В статье рассмотрены теплообменные процессы в сельскохозяйственных сооружениях с подпочвенным аккумулятором тепла и математическая модель с учётом температуры и влажности воздуха.

В зимний период с низкими наружными температурами сельскохозяйственные сооружения необходимо оборудовать системами комбинированных энергосберегающих подпочвенных гелиобиологических обогревов [4].

Целью работы является определение оптимальных, конструктивных и технологических параметров помещений с гелио- и биогазовым отоплением для фермерских хозяйств посредством проведения математического моделирования с учётом температуры и влажности воздуха. В работе [1] расчёт температурных режимов в помещениях проводится путем моделирования процесса теплообмена по звеньям (с разбивкой объёма помещения на зоны). Это приводит к достаточно большому расхождению теоретических расчётных данных от экспериментально наблюдаемых. Поэтому нами решается задача о взаимосвязи между температурой в объёме животноводческих и птицеводческих помещений с количеством теплоты, накопленным аккумулятором и потоком теплого воздуха,

проходящего сквозь слой субстрата, окружающего подпочвенным аккумулятором теплоты. В качестве материала субстрата выбрана смесь, состоящая из 30 % шелухи (отходы обработки хлопка-сырца), 30 % сухого навоза и 40 % сухой глины.

Пусть имеется ряд параллельно расположенных труб диаметром d , с расстоянием между осями S , погруженных в однородный массив на глубину h от его поверхности F . Температура труб t_{mp} и поверхности массива t_F известна, в остальных субстратных слоях распределяется неравномерно. Требуется определить величину теплового потока сквозь массив и субстратные слои от отдельной трубы, находящейся в ряду с другими трубами. Для решения задачи применим метод источников и принцип наложения. Предполагая внутри каждой трубы тепловой поток производительностью Q , поместим симметрично от поверхности массива h_0 . Уравнение для любой точки трубы можно написать в виде ряда температурных разностей относительно всех независимо действующих на субстрат тепловых потоков воздуха.

$$\theta' = Q \frac{1}{2\pi\lambda} \ln \frac{r_1''}{r_1'}, \quad \theta'' = Q \frac{1}{2\pi\lambda} \ln \frac{r_2''}{r_2'}, \quad \theta''' = Q \frac{1}{2\pi\lambda} \ln \frac{r_3''}{r_3'}$$

где $r_1', r_1'', r_2', r_2'', r_3', r_3''$ - расстояния от точки трубы до отдельных движущихся тепловых потоков воздуха. При одновременном действии всех источников и стоков общую температурную разность в любой точке можно найти суммированием разностей:

$$\theta' + \theta'' + \theta''' + \dots = \theta_{mp} = t_{mp} - t_F = Q \frac{1}{2\pi\lambda} \left(\ln \frac{r_1''}{r_1'} + \ln \frac{r_2''}{r_2'} + \ln \frac{r_3''}{r_3'} + \dots \right)$$

Кроме того учитывая граничные условия слой субстрата – верхняя поверхность аккумулятора теплоты $T(0) = T_0$ и $T(L) = T_L$ для теплоотдачи аккумулятором теплоты в атмосферу помещения можем написать следующее уравнение [5]:

$$\pi R^2 k \frac{d^2 T}{dx^2} + \pi R^2 \rho c_p U \frac{dT}{dx} - 2\pi R h_c (T - T_0) = 0 \quad (1)$$

Здесь $f = \frac{T - T_0}{T_L - T_0}$ и $x = \bar{x} / R$. $\frac{UR}{\alpha} = k$. С учётом проведенного

нами математического моделирования уравнение теплового баланса может быть записано в следующем виде:

$$CG \frac{\partial T}{\partial x} + C_v S \frac{\partial T}{\partial t} + KfT = KfT_x \quad (2)$$

В частном случае, записываем уравнение (2) с учётом начальных и граничных условий:

$$T(0, t) = \tau_p(t), \quad T_{x,0} = T_0 \quad x;$$

Для этого подпочвенной аккумулятор теплоты с воздухопроводом будет считаться полуограниченным пространством и из решения прямого и обратного уравнений Лапласа получим [2]:

$$\begin{aligned} T_{x,t} = & \exp[-Kft / CS] T_0 \left(x - S^{-1} \int_0^t G \varphi d\varphi \right) + \\ & + [Kf / CS] \int_0^t \exp[-Kf t - \varphi / CS] T_x \varphi \left[x - S \int_{\varphi}^t G \theta d\theta \right] d\varphi + \\ & + S^{-1} \int_0^t \exp[-Kf t - \varphi / CS] G \varphi \tau_1 \varphi \delta \left[x - S \int_{\varphi}^t G \theta d\theta \right] d\varphi \quad (3) \end{aligned}$$

здесь

$$1_x = \begin{cases} 0, & x \leq 0; \\ 1, & x > 0. \end{cases}$$

Введя новую переменную

$$Z = X - S^{-1} \int_{\varphi}^t G \theta d\theta$$

если не учитывать наибольшие значения температуры на границе “аккумулятор-атмосфера” в начальных условиях $\tau_1(t)$, то для подпочвенного аккумулятора теплоты и окружающего его слоев субстрата уравнение (3) будет иметь вид:

$$T_{x,t} = \left[Kf / C \int_0^x \exp - Kf / CS \right] t - \varphi_{z,x,t} : G \varphi_{z,x,t} dz + \\ + \exp - Kf / CS \quad t - \varphi_{0,x,t} \quad \tau_1 \varphi_{0,x,t} , \quad (4)$$

здесь $\varphi_{z,x,t}$, $\varphi_{0,x,z}$ — корни уравнения (3).

$$X - S^{-1} \int_{\varphi}^t G \theta d\theta = Z \quad \text{и} \quad X = S^{-1} \int_{\varphi}^t G \theta d\theta$$

Введя в уравнение (4) экспериментально определенные значения расхода потока теплого воздуха G подпочвенного аккумулятора теплоты за время t , коэффициент теплоотдачи материала субстрата K , количества теплоты накопленного аккумулятором за время t ($t=nh$, h - шаг времени) и измеренные значения температуры атмосферы в помещении на основе специальной программы моделирования установлено распределение расхода теплового потока вдоль воздуховода подпочвенного аккумулятора:

$$\varphi = nh - S(l - z) / G \quad n-1 \quad h$$

и на их основе получены выражения температуры теплого воздуха на входе и в слое x :

$$T_x = \left(\frac{nh - S(l - z)}{G(n-1)} \right) \quad \text{и} \quad \tau_1 \left(\frac{nh - Sl}{G(n-1)h} \right) \quad (5)$$

Далее проводится сравнение расчётного распределения теплоты в интервале $n-1 \quad h, nh$ в аккумуляторе теплоты с экспериментально наблюдаемым распределением в интервале от:

$$T_x \quad n-1 \quad h , T_x \quad nh , \tau_1 \quad n-1 \quad h , \tau_1 \quad nh .$$

Используя результаты, полученные в работе [3] для распределения теплоты вдоль воздуховода и окружающего его субстрата получим:

$$T_x \quad n+1 \quad h - T_T \quad n+1 \quad h - Q \quad n+1 \quad h / q_0 V = \\ = \exp -h / \beta \quad T_x \quad nh - T_T \quad nh - Q \quad n-1 \quad h / q_0 V , \quad (6)$$

Откуда легко вычислить количество теплоты, которое необходимо накопить в подпочвенном аккумуляторе теплоты, для поддержания в помещении фермерского хозяйства необходимой тем-

пературы. Помимо температурного поля, создаваемого тепловым потоком от нагретой трубы, в субстратном грунте имеет место еще температурное поле от суточных колебаний температуры окружающей среды и собственного теплового потока субстрата. Наложение этих температурных полей усложняют отыскание действительного распределения температур в субстрате.

Сущность этих методов заключается в том, что они создают искусственную модель тела, составленную из сетки гидравлических или электрических сопротивлений, которые должны заменить соответствующие термические сопротивления в массе тела. Питая жидкостью или электротоком такую сетку сопротивлений в местах, сходственных с местами поступления теплового потока в теле и замеряя соответствующие давления воздуха или напряжения электротока в отдельных местах сетки сопротивлений, находят распределение давлений или напряжений, а, следовательно, и аналогичное распределение температур в теле.

Таким образом, разработана математическая модель управления системы, при этом теоретические расчеты совпадают с экспериментально полученными данными в помещениях животноводческих и птицеводческих ферм, где нормализован и оптимизирован температурный режим, который поддерживается солнечной биоэнергией объемного отопительного коллектора подпочвенного теплового аккумулятора в трубе и в субстрате вокруг нее накопленного расхода теплового потока.

ЛИТЕРАТУРА

1. Д.Ши “Численные методы в задачах теплообмена” М.: “Мир” 1988, 534 с.
2. Г.Шлихтинг “Теория пограничного слоя” М.: “Наука” 1994.
3. Р.Пейре, Т.Тейлор “Вычислительные методы в задачах механики жидкости.” Пер. с англ. Л.: Гидрометеиздат. 1986. 386 с.
4. П.Э.Аллокулов, Б.Э.Хайриддинов, В.Д.Ким “Нетрадиционная энергетика” Т.: Фан. 2009, 186 с.

Шевченко А.А.¹, к.т.н., доцент, Болодон В.Н.¹, к.б.н., доцент, Павловский В.Н.², к.ф.-м.н., Ломоносов В.А.³, к.х.н., Кашаев Е.А.⁴

¹ УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь ² ГНУ Институт физики им. Б.И. Степанова, ³ Белорусский государственный университет, ⁴ Институт порошковой металлургии, г. Минск

Рециклинг распыляемых мишеней CIGS(CuInGaSe₂) для тонкопленочных фотопреобразователей: структура и фотолюминесцентные свойства

Ключевые слова: фотопреобразователи, Cu(In,Ga)Se₂(CIGS), микро-структура, спектры фотолюминесценции

Аннотация. Исследованы микроструктура и фотолюминесцентные свойства распыляемых мишеней Cu(In,Ga)Se₂(CIGS) для тонкопленочных фотопреобразователей, полученных рециклингом. Показана перспективность указанной технологии.

Внимание исследователей многих стран давно привлечено к разработке преобразователей солнечной энергии, практическое применение которой не связано с загрязнением окружающей среды и, как следствие, изменением теплового баланса планеты. Возрастающий интерес к фотоэнергетике обусловлен реальной возможностью создания стабильных в эксплуатации, дешевых и высокоэффективных тонкопленочных солнечных модулей [1-3].

В настоящее время максимальные значения коэффициента фотоэлектрического преобразования достигаются в многослойных тонкопленочных фотопреобразователях на основе GaInP/GaAs(30,3%) и тонкопленочном GaAs/CIS (25,8%). Из однослойных фотопреобразователей, более простых в изготовлении, оптимальным КПД отличаются фотопреобразователи на основе CIGS. Коэффициент поглощения света этих полупроводников в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах составляет $3 \cdot 10^5$ - $6 \cdot 10^5$ см⁻¹ (наиболее высокое значение из всех известных полупроводников). В настоящее время солнечные элементы (СЭ) на основе CIGS поглощающего слоя имеют к.п.д. свыше 20 % для площади (0,5 см²) и 11,5 % для модулей большой площади (30х30 см²).

Ключевой проблемой создания СЭ на основе CIGS полупровод-

ников является разработка технологии получения поглощающего слоя с воспроизводимыми физическими характеристиками. Промышленные вакуумные технологии не обеспечивают получения слоя сложного соединения Cu-III-VI₂ с требуемыми физическими характеристиками в едином технологическом цикле, что обусловлено существенными различиями давления паров халькогена и металлических компонент. Эта проблема может быть решена посредством использования распыляемой мишени с необходимыми характеристиками.

В связи с этим целью данной работы является разработка технологии получения мишеней для тонкопленочных фотопреобразователей путем рециклинга и исследование их микроструктуры и фотолюминесцентных свойств. Порошок CIGS был получен из отработанных мишеней данного состава, изготовленных методом направленной кристаллизации. Проведенный элементный анализ показал отсутствие загрязняющих примесей в измельченном порошке. Усредненный состав порошка по данным микрорентгеноспектрального анализа: (Cu ~ 22 мас. %, In ~ 21,5 мас. %, Ga ~ 5 мас. %, Se ~ 26 мас. %, остальное – O₂) соответствовал составу исходной отработанной мишени CIGS. После формования полученных порошков проводили обработку экспериментальных образцов в печи сопротивления в среде аргона в течение 1 ч в интервале температур 300-600 °С. Влияние температуры отжига на микроструктуру и фотолюминесценцию образцов представлено на рисунках 1 и 2. Возбуждение фотолюминесценции осуществляли излучением HeNe лазера мощностью 25 мВт, сфокусированным в пятно на образце диаметром 0.5мм. Обнаружена явная тенденция коротковолнового сдвига спектра фотолюминесценции при увеличении температуры отжига.

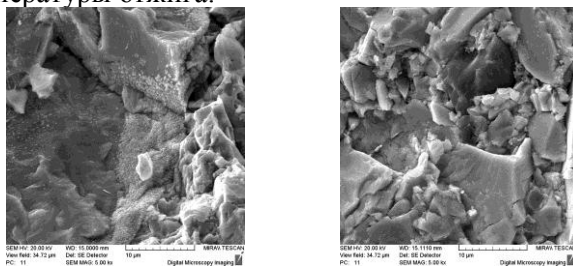


Рис.1- Излом экспериментальных образцов CIGS, полученных рециклингом после отжига при T=300°C и 600°C в аргоне.

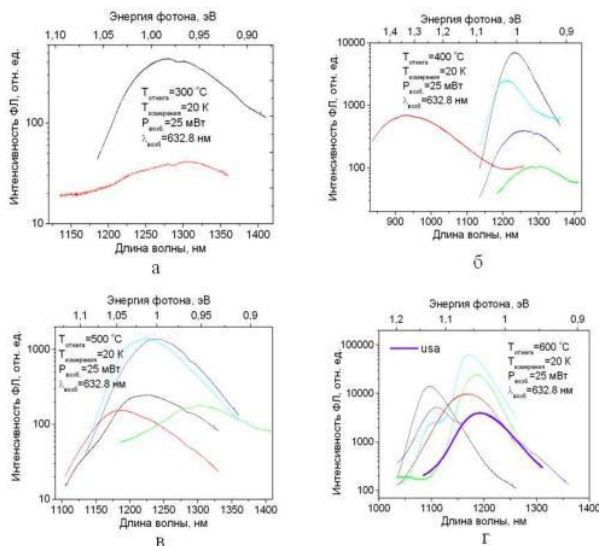


Рис.2- Спектры фотолюминесценции отожженных в аргоне при различных температурах экспериментальных образцов CIGS: а) 300 °С; б) 400 °С; в) 500 °С; г) 600 °С

Максимальная интенсивность фотолюминесценции наблюдалась у образца, отожженного при 600°С. Она сравнима и даже больше, чем у эталонного слоя CIGS на стекле, полученного в США.

Проведенные эксперименты показывают перспективность технологии рециклинга для получения распыляемых мишеней при изготовлении тонкопленочных фотопреобразователей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Попель, О.С. Автономные энергоустановки на возобновляемых источниках энергии [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.abok.ru>
2. Сайт о солнечной энергии [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.solar-energy-x.pp.ua>
3. Ляшков, В.И. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии В.И. Ляшков, С.Н. Кузьмин // Учебное пособие. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2013. – 96 с.- Библиогр.: с. 95-96.

СЕКЦИЯ 3 ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ В АПК

Базулина Т.Г., Силуцкий А.С.
УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь

К ВОПРОСУ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Ключевые слова: энергоэффективность, синхронный электродвигатель, преобразователь частоты.

Аннотация: Энергоэффективность трехфазных асинхронных электродвигателей достигла конструктивного предела. Частотно-регулируемый электропривод нуждается в фильтро-компенсирующих устройствах гармоник высших порядков. Разрабатывается новый класс энергоэффективности электродвигателей IE5 на базе синхронных электродвигателей с постоянными магнитами.

Наибольшее распространение в сельском хозяйстве получили асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором мощностью 2,2-7,5кВ серии АИР, которая относится к классу с высокой энергоэффективностью IE2. Коэффициент полезного действия таких машин средней и малой мощности не превышает 87%. Следует также отметить относительно низкий коэффициент мощности электродвигателей, что негативно сказывается на потерях питающей сети. Существует достаточно большое количество способов компенсации реактивной мощности, как организационных, так и технических, однако в связи с отсутствием надлежащего контроля и учета реактивной составляющей электроэнергии, эти меры на практике применяются в недостаточном объеме. Также в законодательстве отсутствует и стимулирование хозяйств за поддержание высоких показателей качества электроэнергии.

Современные двигатели серии АИР характеризуются более полным использованием активных материалов машины и обладают уменьшенной массой при той же мощности, а магнитная система

машины более насыщена. Однако в целом уменьшение потерь в электродвигателе уже достигло своего конструктивного предела. Энергосберегающие электродвигатели имеют отличия в конструкции: используются электротехнические стали с улучшенными магнитными свойствами и уменьшенными магнитными потерями, применяется изоляция с повышенной теплопроводностью и электрической прочностью, усиленная вентиляция корпуса с улучшенными аэродинамическими показателями обдува, качественные подшипников с увеличенным вдвое сроком службы. Однако все это приводит к увеличению массогабаритных параметров двигателя и его удорожанию.

Условия эксплуатации электрических машин в сельскохозяйственном производстве имеют свои особенности. Нагрузка на валу часто носит случайно-переменный характер, а в некоторых типах нагрузки (например, вентиляция и насосное оборудование), двигатель длительное время может быть недогружен. В этих случаях применение частотно-регулируемого электропривода является экономически целесообразным и позволяет экономить от 30 до 60% электроэнергии. Однако массовое применение электроприемников, вносящих нелинейные искажения в форму кривой питающего напряжения, как в промышленном секторе, так и в бытовом, приводит к дополнительным потерям электрической энергии. Производители преобразователей частоты указывают в технических данных коэффициент мощности равный примерно 0,98. Однако на практике наблюдаются значительные потери энергии, связанные не только с первой гармоникой, но и с высшими гармониками. Согласно исследованиям [1], основной вклад в искажение синусоидальности напряжения сети при работе преобразователя частоты вносят 3я, 7я и 11я гармоники. Коэффициент мощности по каждой из фаз не превышал 0,71. Это все позволяет говорить о том, что проводить компенсацию реактивной мощности только по первой гармонике недостаточно, необходимо также устанавливать фильтрокомпенсирующие устройства и для гармоник высших порядков.

По мнению авторов, наиболее перспективным с точки зрения энергосбережения на данный момент является применение синхронных машин с возбуждением от расположенных на роторе постоянных магнитов. Магниты выполняются из редкоземельных

элементов с высокой коэрцитивной силой. Такие двигатели не нуждаются в щеточном механизме, поэтому их конструкция отличается надежностью и простотой изготовления. Они характеризуются низким моментом инерции ротора, хорошими статическими характеристиками, простой системой охлаждения и относятся к классу по энергоэффективности IE5. По данным ведущего производителя насосного оборудования Grundfos, синхронные двигатели с постоянными магнитами имеют на 47% меньше потерь по сравнению с классом IE2 (рисунок 1). На валу ротора расположены датчики положения ротора, которые управляют открытием силовых тириستоров автономного инвертора напряжения, встроенного в электропривод. Благодаря этому достигается минимум потерь в обмотке статора и обеспечиваются высокие энергетические характеристики.



Рисунок 1. Распределение потерь в трехфазном асинхронном двигателе и в синхронном двигателе на постоянных магнитах.

Отдельно следует отметить свойство синхронных электродвигателей работать с коэффициентом мощности, близким к 1. Меньшие потери приводят к меньшему нагреву машины, следовательно, и срок службы такого двигателя будет больше.

ЛИТЕРАТУРА

1. Оценка влияния на показатели качества электроэнергии формы напряжения в электроустановках. / А.Б.Мадаров, И.В.Тарынин // Известия Волгоградского государственного технического университета: межвуз. сб. науч. ст. №18(145) / ВолгГТУ; под ред. И.А.Новиков [и др.]. – Волгоград, 2014. – 116 с.

Бондарчук О.В., Бондарь Н.Ф., к.х.н., Ковширко Е.Н.
УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь

ВЛИЯНИЕ НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА СТЕПЕНЬ ЗАМОЧКИ ПИВОВАРЕННОГО ЯЧМЕНЯ

Ключевые слова: степень замочки, пивоваренный ячмень, электрическое поле высокой напряженности.

Аннотация. В статье приведены результаты исследования по обработке зерен пивоваренного ячменя переменным неоднородным электрическим полем высокой напряженности, представлены табличные данные степени замочки ячменя в зависимости от напряженности электрического поля. В результате исследования видно, что наиболее эффективно производить электрообработку при напряженности электрического поля 1,2-1,3 МВ/м.

Водопоглощение семян является важным свойством, характеризующим их жизнеспособность. Установлено, что электромагнитное поле влияет на скорость и величину водопоглощения семян [1, 2]. Поэтому, чтобы пробудить к жизни зерно, необходимо повысить в нем содержание влаги до 43—45%.

Среди современных методов 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 неоднородного электрического поля высокой напряженности [3].

В виду этого, в данной работе проводилось исследование по воздействию на зерна пивоваренного ячменя неоднородного электрического поля высокой напряженности с целью определения степени замочки пивоваренного ячменя.

Методика исследования заключалась в следующем: для эксперимента были отобраны четыре пробы по 100 г. каждая и одна контрольная. Пивоваренный ячмень подвергался предварительной

обработке переменным неоднородным электрическим полем различной напряженности.

Пробы: №1 – 1 МВ/м, №2 – 1,2 МВ/м, №3 – 1,3 МВ/м, №4 – 1,4 МВ/м, №5 – контроль.

Исследования проводили в НИАЛ БГАТУ, при температуре 14°С в хладотермостате. Определение степени замочки ячменя осуществляли весовым методом.

Методика измерения заключается в следующем. В металлический тарированный сетчатый стаканчик отвешивают 100 г ячменя, закрывают его плотно крышкой и на цепочке опускают в замочный чан с водой. После окончания замочки стаканчик вынимают, встряхивают, чтобы удалить излишнюю влагу на стаканчике и зернах, обтирают полотенцем и взвешивают.

Для вычисления степени замочки (процента влаги) 100 г ячменя по формуле:

$$\frac{(a + w) \cdot 100}{100 + a}, \quad (1)$$

где: а - привес стаканчика с зерном после замочки в г (количество поглощенной воды); w - влажность исходного ячменя в % [4].

Повторность исследования пятикратная. Данные по степени замочки приведены в таблице 1 по средним показателям за пять экспериментов.

Таблица 1 – Степень замочки пивоваренного ячменя в зависимости от напряженности электрического поля.

№ образца	Напряженность электрического поля МВ/м	Степень замочки, %		
		24 часа	48 часов	72 часа
1	1	23,9	35,9	47,0
2	1,2	22,4	33,5	45,9
3	1,3	22,1	33,2	45,5
4	1,4	20,2	30,1	41,3
5	-	24,6	36,6	47,2

По результатам экспериментов видно, что при воздействии на зерно переменным неоднородным электрическим полем напряженностью 1,2-1,3 МВ/м степень замочки меньше 45,9% и 45,5% соответственно (но находится в пределах необходимых для прорастания 45-47%), следовательно, зерно насыщается влагой мед-

леннее, что указывает на равномерное увлажнение мучнистого тела и лучшее растворение эндосперма. При воздействии переменного неоднородного электрического поля напряженностью 1 МВ/м степень замочки 47,0% близка к контрольному образцу 47,2%, а напряженность 1,4 МВ/м оказывает угнетающее действие на зерно и степень замочки 41,3% не достаточна для прорастивания ячменя.

Из опыта можно сделать вывод, что переменное неоднородное электрическое поле высокой напряженности действительно оказывает влияние на биологические процессы жизнедеятельности зерна.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жидченко Т.В. Механизм увеличения водопоглощения семян под воздействием магнитного и электрического полей [Текст]/ Т.В. Жидченко, Ю.Н. Ксёиз, В.Н. Полунин, И.Г. Сидорцова//Электротехнологии и электрооборудование в с.-х. пр-ве. – Азов; Черномор. гос. агроинж. акад. – 2002. – Вып. 1. – С. 44-47.
2. Жолкевич В.Н., Водный обмен растений. / В.Н. Жолкевич Н.А. Гусев, А.В. Капля. – М.: Наука, 1989. – 256 с.
3. Технология пищевых производств / Л.П. Ковальская, И.С. Шуб, Г.М. Мелькина и др.; Под. Ред. Л.П. Ковальской. – М.: Колос, 1999. – 752 с.: ил. – (Учебники и учеб. пособия для студентов высших учебных заведений).
4. Пашинский В.А. Интенсификация процесса производства солода. /В.А. Пашинский, О.В. Бондарчук // Экологический Вестник, №1(11), 2010. – С.83-89.
5. Косминский И.Г. Технология солода, пива и безалкогольных напитков. Лабораторный практикум по теххимическому контролю производства. – Мн.: Дизайн ПРО, 1998, – 352 с.: ил.

**Бусел Д.В., аспирант, Барайшук С.М., к.ф.-м.н., доцент,
Корко В.С., к.т.н., доцент.**

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

ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДУХА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ХРАНЕНИЯ ОВОЩНОЙ ПРОДУКЦИИ

Ключевые слова: микроклимат, хранение продукции, система вентиляции, электростатическая очистка, ионизационное обеззараживание.

Аннотация. В работе рассматривается возможность создания комбинированной системы электростатической очистки и ионизационного обеззараживания воздуха на основе известных технологий в применении к системам управления микроклиматом овощехранилищ.

Современный подход к системе производства и хранения плодоовощной продукции основан на повышении рентабельности отрасли не только за счет увеличения объемов производства, но и совершенствования способов обработки и хранения овощей, позволяющих минимизировать их потери [1-3]. Актуальность исследований в данной сфере подтверждается вниманием, уделяемым им на государственном уровне, разработки в данной области включены в программу инновационного развития Республики Беларусь на 2016–2020 годы» [1].

Устойчивое развитие отраслей АПК – одно из главных условий социально-экономической стабильности общества, укрепления экономической безопасности. Приоритетная роль в нем принадлежит надежному и эффективному техническому обеспечению, в перспективе внимание технического обеспечения АПК будет иметь еще большее значение в связи с стремительно развивающимися исследованиями технологий, которые проводятся в данной отрасли. При этом энергопотребление, особенно потребление электроэнергии, будет расти, и задача состоит в том, чтобы своевременно и пропорционально повысить и

энергоэффективность производства, сохранность продукции и в целом экономическую эффективность сельского производства.

В настоящее время темпы научно–технического прогресса и интенсификации сельскохозяйственного производства, повышение технического уровня и улучшение условий труда в АПК определяются и в значительной степени будут определяться уровнем его обеспечения, сохранности произведённой продукции. Поэтому главной задачей развития АПК является надежное и экономичное обеспечение высокотехнологичными средствами сельскохозяйственных потребителей, повышение энергоэффективности производства на основе внедрения современных технологических процессов.

Необходимость выдерживания параметров хранения в достаточно жестких рамках в течение длительного времени заставляет более ответственно подходить к системам вентиляции хранилищ. Особая значимость которых для сохранности плодоовощной продукции заключается в особенностях хранения, учитывающих продолжение биологических процессов напрямую влияющих на газовый состав воздуха в помещениях хранилища, его температуру и влажность.

Необходимо создание высокоэффективных технических средств микроклимата с управлением на базе микропроцессорной техники, обеспечивающих реализацию принципа энергоэффективности путем применения регулируемого воздухообмена, а так же подавления биологических вредоносных образований. Снижение энергозатрат на обеспечение микроклимата будет осуществляться на основе оптимизации технических характеристик оборудования с учетом изменения тепловлажностной нагрузки и наружных климатических условий, автоматизации управления систем обеспечения микроклимата, необходимого воздухообмена для различных хранилищ, сезонов, климатических зон.

Отсутствие автоматических средств для контроля параметров микроклимата и управления ими приводит к увеличению энергозатрат, нарушению режимов поддержания требуемых параметров среды в помещениях и эффективности систем микроклимата в целом [3].

Большинство выпускаемого оборудования может производить, как правило, один вид обработки воздуха, в то время как в

овощехранении важно иметь автоматизированные установки для комплексной обработки воздуха.

Полные методики по расчету параметров подобных комбинированных электроустановок отсутствуют. Существуют лишь некоторые известные методы расчета отдельных элементов. Поэтому важной научной задачей является разработка методики расчета электрических, теплоэнергетических и конструктивных параметров установки для овощехранилищ и ее экспериментальное подтверждение, что позволит проектировать и рассчитывать подобные установки любого типоразмера.

Физическое моделирование процессов теплообмена в каждом отдельном аппарате и его математическое описание позволят определить коэффициент теплоотдачи и тепловой поток от нагревателей к теплоносителю, составить уравнение теплового баланса, вычислить КПД, определить толщину теплоизоляции корпуса, обосновать условия работы электронагревателей и проверить правильность выбора энергетических и конструктивных параметров нагревательных элементов.

Эффективность процесса обеззараживания воздуха определяется на основе тщательного анализа всех частных условий в исследуемых помещениях.

Заключение: Выпускаемое оборудование не отвечает современным требованиям по экономии и оптимизации, надежности и практической целесообразности предприятий хранения. Для помещений хранения овощной продукции требуется разработать комплексы оборудования, обеспечивающие поддержание регулируемых параметров воздушной среды по температуре, влажности, газовому составу, ионному составу, скорости движения (Постановление Министерства сельского хозяйства и продовольствия РБ от 8 февраля 2016 г. № 8).

ЛИТЕРАТУРА

1. Указ: <https://www.shp.gov.by/programms/fdbac4b499a1dde8.html>
2. M.P. Paranthaman, W. Wong-Ng, R.N. Bhattacharya. //Switzerland: Springer International Publishing, 2016. – V. 218. P. 25.
3. Морозов, Н.М. Организационно-экономические и технологические основы механизации и автоматизации сельского хозяйства. 2011г. – 260 с.

**Герасимович Л.С., д.т.н., профессор, Коховец Ж.А., ассистент,
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь**

ЭКСЕРГЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ЭНЕРГОПОТРЕБИТЕЛЕЙ КОМПРЕССОРНОГО ЦЕХА МЯСОКОМБИНАТА

Аннотация. В данной работе доказывается потребность и возможность использования методов эксергетического анализа термодинамической системы холодильной установки.

Целью работы являются исследования использования электроэнергии основными потребителями компрессорного цеха мясокомбината. Исследования проводились методом эксергетического анализа термодинамической системы холодильной установки. Для выделения главных (доминирующих) однородных факторов, влияющих на энергоэффективность работы выделенной системы, составляющих около 80% суммарного потребления эксергии использована диаграмма Парето. Выявлены наиболее энергоемкие потребители, которые имеют наибольшие резервы экономии электроэнергии.

Мясокомбинаты республики — крупные предприятия, применяющие системы холодоснабжения производительностью 300...6000 кВт для обеспечения температуры охлаждающей среды от -35 до +12°C. Вместе с этим в большинстве компрессорных цехов мясокомбинатов республики эксплуатируются устаревшие аммиачные холодильные машины, требующие обоснования мероприятий по энергосбережению, либо замены на фреоновые. На рисунке 1 представлена диаграмма распределение расхода энерго-ресурсов (электроэнергия, теплоэнергия, сжатый воздух, холод, вода) одного из крупных мясокомбинатов Беларуси Минского мясокомбината за отопительный период прошлого года.

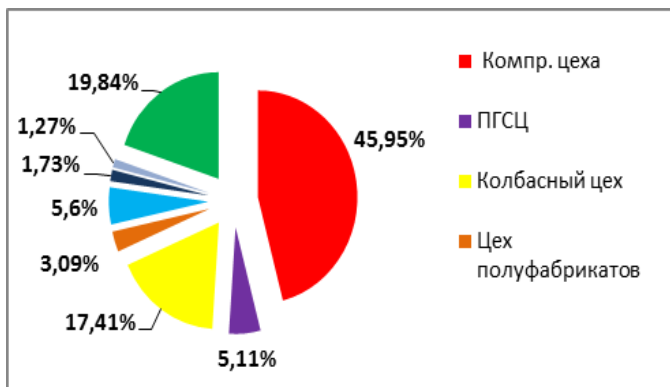


Рис.1 Сравнительный расход электроэнергии по цехам мясокомбината. ПГСЦ- парогазосиловой цех, ЦППС- цех первичной переработки скота, УТФ-участок технических фабрикатов

Анализ диаграммы показывает, что основными потребителями электроэнергии на мясокомбинате являются: компрессорные цеха, колбасные цеха и цех первичной переработки скота.

Значительная часть электропотребления приходится на холодильные установки, в состав которого входит основной энергопотребитель – компрессорная установка.

Холодильной установкой называется объединение холодильной машины с другими элементами, осуществляющими процессы распределения и потребления холода (например, с рассольной системой).

Холодильные машины по принципу получения холода делятся на две группы: работа одной из них связана с затратой механической энергии, другой — с затратой тепла.

Проведен анализ существующей аммиачной холодильной установки № 1 мясокомбината, технические параметры которой представлены в табл. 1. Были выявлены следующие недостатки:

- несовершенная схема аммиачной холодильной установки;
- физический износ компрессорных агрегатов;
- отсутствие скороморозильных агрегатов для заморозки блочного мяса;
- все холодильные камеры для заморозки, охлаждения и хранения блочного мяса и полутуш оборудованы пристенными и потолочными батареями;

- распределительные устройства находятся на ручном управлении;
- плохая тепловая изоляция стен, пола и потолка в холодильных камерах;
- несовершенная конструкция градирни для охлаждения оборотной воды;
- плохая тепловая изоляция трубопроводов.

Под несовершенной схемой холодильной установки понимается чрезмерные затраты электроэнергии на сжатие аммиака для конденсации, что послужило причиной для дальнейшего исследования.

Компрессоры с электроприводом предназначены для преобразования механической энергии в энергию сжатия и перемещения газа или пара, которые являются рабочими веществами компрессорных холодильных установок [2].

Для этих потребителей особо актуальны вопросы оценки и повышение термодинамической эффективности в холодильных установках. Для оценки эффективности необходимо иметь данные о потребности в холоде и его параметрах.

Удельный расход электроэнергии на производство холода зависит от режимов технологических процессов и работы вспомогательного оборудования, а оценка термодинамического совершенства тепловых процессов позволит получить наиболее полную информацию о преобразованиях энергии, происходящих в этих процессах тепло и массообмена. Поэтому для анализа структуры энергопотребления энерготехнологической системы целесообразно принять метод эксергического анализа [4].

Связи, устанавливаемые при эксергетическом анализе между термодинамическими характеристиками и технико-экономическими показателями анализируемой системы, дают возможность оценить эффективность ее работы, а также определить пути и способы совершенствования. Объективность получаемых при таком анализе оценок обусловлена прежде всего тем, что они основаны на расчете минимально необходимых материальных и энергетических затрат на реализацию исследуемого технологического процесса компрессорного цеха.

Для исследования принята принципиальная термодинамическая расчетная схема компрессорной холодильной установки.

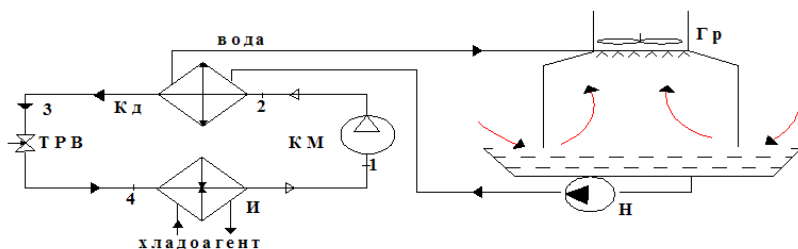


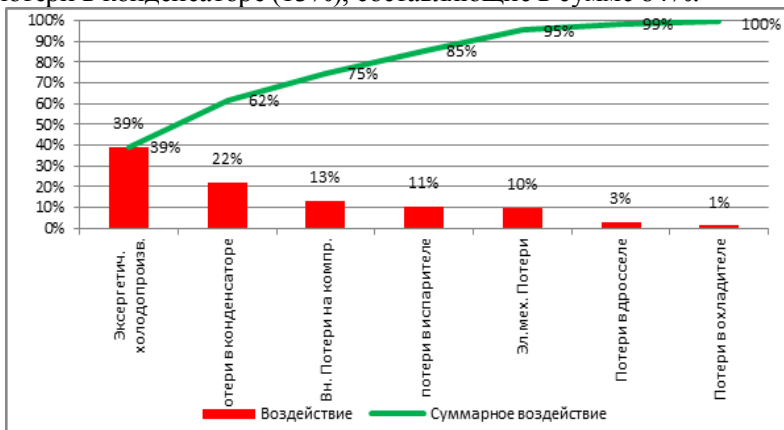
Рис. 2. Принципиальная схема аммиачной холодильной установки: Кд - конденсатор; КМ - компрессор; ТРВ - терморегулирующий вентиль; И - испаритель; Гр - градирня; Н - насос;

Основными элементами энерготехнологической системы компрессорного цеха являются компрессор с электродвигателем, конденсатор, испаритель и дроссель (регулирующий вентиль), связанные между собой системой трубопроводов для циркуляции рабочего тела.

Исходные данные для эксергетического расчета взяты из журналов учета энергопотребления КЦ ММК за 2012-2013гг..

Результаты расчета были представлены в виде диаграммы Парето.

Цель построения диаграммы Парето - выделение главных (доминирующих) однородных факторов, влияющих на энергоэффективность работы выделенной системы, составляющих около 80% суммарного потребления эксергии.[3]. Для нашего случая это потери в испарителе (50%), эксергетическая холодопроизводительность (21%) и потери в конденсаторе (13%), составляющие в сумме 84%.



Термодинамический анализ холодильной установки позволил установить:

1. Наибольшие потери полезной энергии преобладают в испарителях, в которых кипит холодильный агент (аммиак), воспринимая теплоту от охлаждаемой среды производственных цехов мясокомбината.

2. Интенсивность теплообмена зависит от теплоотдачи со стороны охлаждаемой среды (воздуха, рассола) и со стороны кипящего холодильного агента. Потери происходят за счет колебания температур кипения холодильного агента с одной стороны, а с другой - за счет увеличения концентрации рассола, что повышает плотность и уменьшает теплоемкость, а следовательно, увеличивается расход энергии на перекачку рассола, что, в конечном итоге, определяется параметрами: суточной, сезонной холодопроизводительностью и температурой наружного воздуха которые, вследствие, определяют потери в теплообменных аппаратах и тепловых сетях.

Результаты данного исследования показали, что на мясокомбинатах холодильные компрессорные являются наиболее энергоемкими потребителями, и, соответственно, имеют наибольшие резервы экономии электроэнергии. Эффективность работы холодильной установки, как показал анализ, должна оцениваться в системе работы «компрессорные установки - холодильные камеры - градирня». Детальный анализ послужит основой для разработки энергоэффективных технико-технологических решений по усовершенствованию исследуемой системы и ее оптимизации: модернизация компрессорного цеха с заменой устаревших аммиачных машин, управление режимами их работы и потреблением холода в динамическом режиме энергопотребления в зависимости от сезона года и загрузки цехов предприятия и др.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кочетков Н.Д. Холодильная техника.- М.: Машиностроение, 1966.-408 с.
2. Кошкин Н.Н., Сакун И.А. и др. Холодильные машины. - Л.: Машиностроение, 1985.-510 с.
3. Л.Н.Александровская, И.З.Аронов, В.В.Смирнов, А.М.Шолом. Сертификация сложных технических систем: Учебное пособие для ВУЗов под ред. В.И.Круглова. М.: Логос, 2001. - 312 с.

4. Эксергетический метод и его приложения.- под ред. В.М. Бродянского. - М. : Мир, 1967. - 248 с.

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

6. Стриха, И. И. Энергосбережение в промышленности и энергетике / И. И. Стриха, И. И. Рысейкина. – Минск : Энергопресс, 2012. – 277 с.

**Герасимович Л.С., д.т.н., профессор, Михайлов В.В.,
Павловский В.А., Заец А.Н., Киселев Ю.С.
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь,
ОАО «Связьинвест» г. Минск**

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СВЕТОДИОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ НА РОСТ ТОМАТОВ В ТЕПЛИЦАХ

Ключевые слова: защищенный грунт, томаты, светодиоды, управление, фотосинтез, биопродуктивность, энергоэффективность

Аннотация. Исследовалось влияние на биопродуктивность культуры томата облучения натриевыми лампами высокого давления и светодиодными светильниками. Располагались светодиодные светильники: сверху над рядами и непосредственно в ценозе на уровне среднего яруса листовой поверхности. Натриевые лампы высокого давления были расположены над растениями по традиционной технологии облучения. Управление уровнем ФАР и спектральным составом светодиодных светильников осуществлялся с помощью специально программного обеспечения финской компании Dali.

Проведены исследования эффективности использования светодиодов и биопродуктивности культуры томата (гибрид «Тореро») в зимне-весеннем обороте в условиях малообъемной технологии за-

щищенного грунта отделения «Богатырево» УП «Агрокомбинат «Ждановичи» (Минский район, Республика Беларусь) в 2016 году.

Увеличение объемов и уменьшение сроков выращивания качественной овощной продукции на сельскохозяйственных предприятиях Республики Беларусь является одной из важных экономических задач в большой степени зависящей от внедрения новейших наукоемких технологий в данную отрасль. Вопросам рационального энергопотребления отводится все большее значение, это обусловлено возрастающими тарифами, высокой составляющей доли затрат на энергоносители в себестоимости продукции и т.д. Важную роль в увеличении урожайности овощных культур и потреблении электроэнергии является использование электрического досвечивания растений, которой отводится особое внимание в целях повышения эффективности функционирования тепличного овощеводства. Условия световой среды во многом зависят не только от конструкции теплицы и проникновения естественного солнечного света, но и от искусственных источников излучения, их типа, способа размещения относительно ценоза, стоимости и возможности управления световым режимом.

В настоящее время особое внимание уделяется гибридной системе освещения, на основе натриевых ламп высокого давления и светодиодов [1]. Данный вид технологии подразумевает использование модулей светодиодов в ценозах выращивания овощей, при котором происходит равномерное светораспределение на нижних ярусах, что положительно сказывается на протекании фотосинтеза в томатах.

Проведенные нами исследования были направлены на сравнение эффективности применения в светокультуре томата натриевых ламп высокого давления и светодиодной техники, позволяющей изменять свои светотехнические параметры.

Светокультура на основе светодиодных светильников ДСП-Фитолед, совместно разработанными ОАО «Связьинвест» и УО «БГАТУ» предусматривала горизонтальное расположение светильников над растениями на расстоянии 1-1,2 м и непосредственно в ценозе протяженность ряда составляла 96 м.

Учитывая, что различный вид растений (тепличных культур) наиболее полно используют определенные участки спектра в формировании биологических процессов была разработана и примене-

на система управляемой светокультуры с регулируемым спектром на основе чувствительных датчиков освещенности и влажности субстрата.

Продолжительность облучения светодиодными светильниками была запрограммирована аналогично облучению лампами ДНаТ. Разработанное программное обеспечение позволяло изменять сочетание спектра излучения и интенсивности ФАР светодиодов в пределах 100-150 Вт/м². Включение и отключение происходило по значению естественной солнечной освещенности с помощью датчика освещенности Dali.

Заключение

В результате проведенных исследований были выявлены закономерности эффективности использования и сравнения источников ФАР на основе светодиодов и ламп высокого давления в ценозе культуры томата зимне-весеннего оборота. Определено, что применение светодиодов с регулируемым спектром излучения позволяет снизить потребление электроэнергии на процесс досвечивания, добиться более равномерного распределения излучения у поверхности листьев, при этом интенсивность фотосинтеза на среднем и нижнем ярусе увеличилась на 20-30%. Накопление биопродуктивности томатов находилось в пределах 80 г/МДж, что является доказательством эффективного технического решения при использовании светодиодов в теплице.

Результаты опытов приведены в таблице 1.

Таблица 1. Урожайность томатов при использовании систем досвечивания и ее сравнение с контрольной группой.

Дата	Светоды	ДНаТ, кг/м ²	Контроль, кг/м ²	Увеличение в сравнении с контрольной группой, светодиоды / ДНаТ соответственно, кг/м ²
	кг/м ²	кг/м ²	кг/м ²	
22.04.16	4,37	4,45	2,73	+1,64/+1,72
02.05.16	6,2	6,5	4,5	+1,7/+2
19.05.16	12,5	12	10,5	+2/1,5

Примененный способ размещения и управления светодиодными светильниками позволил достигнуть увеличения урожайности томатов в весенне-летнем обороте по сравнению с контрольным участком.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ioslovich I. Optimal control strategy for greenhouse lettuce: incorporating supplemental lighting / I. Ioslovich // Biosystems engineering – V. 103 - № 1. – 2009. - p. 57-67.

**Городецкая Е.А., Дубодел И.Б., Корко В.С., Непарко Т.А.,
Городецкий Ю.К., Качалко А.С., Павлович И.А., Савина Л.М.,
Федарцова Н.Л.**

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

ВОССТАНОВЛЕНИЕ БЕЛОРУССКИХ ЛЕСОВ СЕМЕНАМИ ХВОЙНИКОВ ПОСЛЕ ИХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕПАРАЦИИ

Ключевые слова: прорастание, хвойники, экологичность растениеводства, Республика Беларусь, импортозамещающая технология, диэлектрическая сепарация, всхожесть семян

Аннотация. Приведены результаты исследований влияния электрофизического воздействия на всхожесть семян хвойных культур после диэлектрической сепарации

The paper presents main information and results of studies of the influence of the electrophysical effect on the germination of seeds of coniferous crops after dielectric separation

Нашими ранними исследованиями (Гаранович И.М., Городецкая Е.А., Зеленкевич А.В. «Оптимизация агротехники выращивания сеянцев лесных культур» Журнал «Весці Национальнай акадэміі навук Беларусі», серія біялагічных навук, 2008, № 4, с. 23-27) было показано, что диэлектрическая сепарация (как модулятор неоднородного электрического поля различной напряженности) оказывает ростостимулирующий эффект на семена с.-х. и хвойных культур. Целью настоящей работы было изучить изменение морфологических свойств семян хвойников *Picea abies* (L.) и *Pinus sylvestris* в условиях электромагнитного воздействия на модернизированном диэлектрическом сепараторе. Актуальность развития

подобных исследований определяется существующим несоответствием физиологического качества посевного материала требованиям интенсивных технологий растениеводства. Авторы предполагали добиться ускорения всхожести семян *Picea abies* (L.) и *Pinus sylvestris* после их обработки в неоднородном электрическом поле, что может стать предпосылкой для снижения закупок элитных семенных партий и быть фактором импортозамещения. Изучалось расширение функциональных возможностей диэлектрического сепаратора выработкой параметров для семян хвойников.

Высев семян, обработанных нами ранее в переменном электромагнитном поле и низкотемпературной плазмой, продемонстрировал повышение энергии прорастания и всхожести, что мы представили в наших ранних исследованиях [1]. При сепарации семенных смесей на сепараторе диэлектрическом лабораторном используют различие электропроводности, диэлектрической проницаемости, поляризуемости, способности воспринимать и отдавать заряд, в тоже время нативные свойства семян и биохимические показатели остаются неизменными. Кроме этого, мы наблюдали улучшение фитосанитарного состояния проросших семян после диэлектрического сепарирования. Следует отметить, что электрические свойства обрабатываемого семенного материала находятся в тесной взаимосвязи с их другими физическими и биологическими свойствами. Недостаток бифилярной обмотки, заключающийся в просыпании мелких частиц в межэлектродный зазор и забивании эффективной рабочей зоны, мы успешно устранили натяжением пленочного покрытия. Для исследований взяты тонкие полиэтиленовые пленки, изготавливаемые по ГОСТ 10354-82.

В результате очистки повышается не только качество, но и сохранность семян основной культуры, а также обеспечивается более высокая их пригодность. При очистке удалению подлежат не только все посторонние компоненты, но и некоторая часть семян основной культуры, которая не отвечает установленным требованиям к качеству и относится к зерновой или сорной примеси. Это семена испорченные, поврежденные вредителями, недоразвитые, щуплые, дробленые, раздавленные. При очистке семян мы выделяли следующие фракции: полноценное семенное зерно (первый сорт); мелкие и щуплые семена (второй сорт); крупные и легкие примеси; мелкие отходы. Так, изменяя влажность семян, частоту питающего

напряжения, а также диэлектрическую проницаемость и толщину изоляции, можно создавать конкурентноспособные технические устройства, позволяющие отбирать семена с заранее заданными свойствами.

Заключение

1. Определены три категории факторов (конструктивные, технологические и свойства семян), решительно влияющих на силовое воздействие электрического поля на семена при их нахождении на системе заряженных электродов с пленочным покрытием.

2. Система «семя-электрод» рассматривается как совокупная информационная система, ресурс которой это свойства семян и параметры системы электродов.

3. Экспериментально установлено, что подача семян, обеспечивающая их расположение на рабочем органе в один слой, наиболее оптимальна для разделения и стимуляции семян. Время нахождения семян на рабочем органе - фактически «под напряжением 2,0 кВ $\pm$ 0,2 кВ» - составляет 5...8 с, толщина пленочного покрытия – 40...60 мкм. Оптимальная влажность семян была в диапазоне, типовом для хранения – 12...14%. Изучение морфологических и физиологических показателей в осенний период не показало каких-либо существенных отличий.

Наши исследования позволяют перевести процесс посева семенами хвойных растений в систему точного земледелия, позволяющее совершенствовать агропроизводство за счет учета потребности культуры в удобрениях; оптимизировать тайм-менеджмент, в том числе на уровне хозяйства); сокращается негативное агровоздействие – налицо положительное экологическое действие (более точная оценка потребностей культур в азотных удобрениях и внесение их только там, где необходимо); рост производительности труда и экономия на «сбереженных удобрениях».

Работа выполняется в соответствии с Договором с Белорусским Республиканским фондом фундаментальных исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Электросепарация и плазменно-микроволновое воздействие на семена и растительные объекты / В.Н.Решетников, Е.А.Городецкая, В.В.Ажаронек // Inzenieria i aparatura chemiczna, Республика Польша, 2006. – № 1-2. – str. 66-67.

2. Gorodecka A., Gorodecki J., 2015 Поведение агрономических показателей семян под влиянием диэлектрической сепарации. *Ekologia I Technika*. Vol. XXIII, nr 4, 211-214 (2015).

**Гулевский В.Б., к.т.н., доцент, Постол Ю.А.,
к.т.н., доцент, Дудина М.П., студентка-магистрант
*Таврический государственный агротехнологический
университет, Украина***

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ ЭЛЕКТРОБИОСТИМУЛЯЦИИ РАСТЕНИЙ

Ключевые слова: электротехнологическое действие, растения, электроактивированная вода

Аннотация: работа посвящена вопросам выбора методов электробиостимуляции растений

На современном этапе научно-технического развития происходит смена технологий и методов, обеспечивающих высокую эффективность электробиостимуляции растений. При выращивании зерновых в экологическом земледелии ведется поиск новых, более эффективных методов обработки.

Производительность семян зависит от многих составляющих, как от внешних факторов (места существования и развития), так и от его биологических качеств [1,2]. Многообразие этих факторов очень большое и, в разные периоды развития растений, они по-разному влияют на рост и созревание. Учесть их все практически невозможно, но современная агрокультура имеет в своем арсенале большое количество методов, препаратов, технологий и технических средств для целеустремленного действия на семена и среду его развития, с целью получения стабильного урожая.

Собственно говоря, суть всех технологических приемов заключается в том, чтобы нейтрализовать влияние одних факторов (негативных) и усилить влияние других факторов (позитивных).

Альтернативным, является применение электротехнологий.

До настоящего времени получена достаточная информация об электрических явлениях, которые сопровождают в растениях процессы фотосинтеза, дыхания, передвижения веществ по их тканям [1,2].

Результаты современных исследований показывают, что эффективность методов стимуляции посевных качеств семян растений зависит от согласования технологических и конструктивных параметров установок и их режимов работы с физиологическими показателями и биохимическим составом семян. Следует отметить, что электрические свойства обрабатываемого материала находятся в тесной взаимосвязи с другими физическими и биологическими свойствами.

В последнее время внимание ученых привлекают биологически активные воды, которая стимулирует жизненные процессы растений [1-3]. При недостатке влаги наши растения буквально голодают, ведь вода участвует в процессах фотосинтеза, усвоения минеральных соединений из почвы. Качество воды для полива растений так же важно, как и качество питьевой воды для людей. У поливной воды должна быть нейтральная или слабокислая реакция. Действие воды на организм зависит от количества, содержащегося в ней воздуха. Например, как показали исследования, вода, доведенная до кипения и быстро охлажденная, стимулирует жизненно важные процессы, происходящие в растительных и животных организмах.

Особые свойства вода приобретает в электрическом поле [4]. Известно, что в сильном электрическом поле происходит поляризация среды, а при выполнении определенных условий, произойдет и диссоциация молекул воды. Вода поляризуется в области градиента потенциала, а ток проводимости и затраты мощности от источника – это косвенный фактор, которого можно избежать, если не допускать электрического пробоя между электродами [5].

Воздействие на воду электрического поля, установленное по реакции живых организмов, носит субъективный характер, а потому требует подтверждения.

Для достижения цели поставлены следующие задания:

- провести экспериментальное исследование;
- проанализировать результаты эксперимента;

Согласно избранной методике эксперимента, семена избранных культур были разделены на две группы: экспериментальную и контрольную. Биологическая активность воды зависит от направления напряженности электрического поля, поэтому семена экспериментальной группы были разделены на следующие подгруппы:

- семена, полив которых осуществлялся положительно заряженной водой;
- семена, полив которых осуществлялся негативно заряженной водой.

Электроактивированную воду получали путем разбрызгивания воды на изолированную металлическую сетку, подключенную к источнику электрических зарядов, через наконечник.

Проведенные исследования и полученные результаты показали, что растения, политые этой водой, развивались лучше обычных, их зеленая масса оказывалась более обильной. Лучше всего влияние негативно заряженной воды по сравнению с положительно заряженной можно объяснить тем, что само растение обычно заряжено негативно. Поглощение из воды дополнительных негативных ионов увеличивает разницу потенциалов между растением и атмосферой, которая положительно отражается на фотосинтезе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Іноземцев Г.Б. Електрофізичні та технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: курс лекцій / Іноземцев Г.Б., Червінський Л.С., Берека О.М. – К.: НАУ, 2006. – 124 с.

2. Електротехнології обробки сільськогосподарської продукції: Навч. посібник / Г.Б. Іноземцев, О.М. Берека, О.В. Окушко, С.М. Усенко; за ред. Г.Б. Іноземцева. - К.: «ЦП «КОМПРИНТ». -2015.- 306 с.

3. Щербаков К.Н. Стимуляция ростовых процессов растений низкоэнергетическим магнитным полем / К.Н. Щербаков // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 2002. - №7. - С. 26-29.

4. Электроактивированная вода – источник жизни и здоровья [Текст] / Куртов В.Д., Фурманов Ю.А., Махровская Н.К., Давиденко И.П.]. – К.: НПФ ЭкоВод, 2003. – 74 с.

5. Герловин И. Л. Основы единой теории всех взаимодействий в веществе. / И. Л. Герловин. — Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. отделение, 1990. — 432 с: ил.

Дайнеко В.А., зав. кафедрой ЭСХП,
Шинкевич В.Н., магистрант
УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЙ РЕЖИМ НАСОСНЫХ УСТАНОВОК ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ

Ключевые слова: электродвигатель, преобразователь частоты, насос для водоснабжения, энергосберегающий режим.

Аннотация: Проанализированы пути энергосбережения в регулируемом электроприводе погружного насоса для водоснабжения. Оптимальная настройка преобразователя частоты при скалярном управлении асинхронным электроприводом позволяет снизить потребление электроэнергии до 15%.

Регулирование силы тока в обмотках асинхронных электродвигателей (АД) позволяет уменьшить потери в двигателе, особенно при его малой нагрузке [1,2]. Если электродвигатель не полностью загружен и длительно работает при постоянной нагрузке, рекомендуется снижать напряжение на обмотке статора электродвигателя. В результате из сети потребляется меньшая мощность.

Такая функция управления предусмотрена в специализированных преобразователях частоты (ПЧ) [2], но может быть реализована в любых ПЧ, работающих при скалярном управлении по вольт-частотной характеристике (U/f) при условии их правильной настройки. Эта функция эффективна для привода вентиляторов и насосов, момент сопротивления которых пропорционален квадрату угловой скорости вращения.

Если мощность электродвигателя мала по отношению к мощности ПЧ, или к преобразователю подключены несколько АД, экономия энергии снижается. Для машин с высокими моментами нагрузки и частыми процессами разгона-торможения, такой режим экономии энергии не действует.

Характеристика U/f определяет зависимость амплитуды выходного напряжения от выходной частоты для всех режимов работы преобразователя, причем могут быть следующие типы характе-

ристики U/f : линейная, для механизмов с постоянным моментом нагрузки; квадратичная, напряжение на выходе ПЧ изменяется по квадратичной зависимости при возрастании частоты от 0 до 50 Гц, для вентиляторов, насосов и компрессоров.

Для произвольной зависимости напряжения от частоты используется кривая пользователя – задание частоты по нескольким точкам.

Все характеристики U/f обеспечивают изменение напряжения в диапазоне 0...100% от значения номинального напряжения двигателя. Для линейной и квадратичной характеристик величина 100% напряжения прикладывается к двигателю при номинальной частоте АД. При частотах, больших номинальной (50 Гц), происходит ослабление магнитного поля двигателя.

Известно, что полезная мощность АД зависит от тока статора, частоты вращения, механических потерь, потерь в стали сопротивления обмоток статора (3). Поэтому, при уменьшении тока статора при соответствующей настройке преобразователя частоты, снижаются потери в статоре АД, что приводит к повышению КПД двигателя и привода рабочей машины в целом.

Известно также, что ток статора при снижении частоты питающей сети до 80%, снижается до 90%, уменьшая нагрев электродвигателя.

Для определения оптимального режима работы погружного насоса, обеспечивающего минимальную потребляемую из сети мощность, использовалась схема регулируемого электропривода с обратной связью по давлению в напорном трубопроводе. Такая схема позволяет стабилизировать давление и контролировать потребляемую мощность и частоту в обмотке статора АД по дисплею преобразователя частоты. Датчик давления обеспечивает стандартный сигнал 4-20 мА и включается на вход ПИД-регулятора преобразователя частоты.

При экспериментальных исследованиях установлено, что при частоте тока статора 50 Гц, минимальная мощность потребляется при фазном напряжении в обмотке статора, равном 205 В. Подтверждено также снижение тока статора на 10-12 % при снижении частоты на выходе ПЧ до 41 Гц.

Таким образом, применяя индивидуальную наладку частотно-регулируемого привода водоснабжающей установки по пользова-

тельской кривой частотного преобразователя, можно получить снижение потребления энергии на 12-15%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Браславский И.Я. Энергосберегающий асинхронный электропривод.- М.: Издательский центр «Академия», 2004.-256 с.
2. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием. – М.: Издательский центр «Академия», 2007.-272 с.
3. Актуальность проблемы энергосбережения в системе водоснабжения // «Новости приводной техники».-М., 2001.-№6.
4. Лезнов Б.С. Экономия электроэнергии в насосных установках.- М.: Энергоатомиздат, 1991.-144с.
5. Н.Ф.Ильинский. Энергосбережение в электроприводе. М.: Высшая школа, 1989. - 126 с.
6. Забелло Е.П., Дайнеко В.А. Повышение энергоэффективности при совершенствовании систем водоснабжения и водопользования. – Энергетика и ТЭК. - Минск, №5, май 2017, с.18-21.

Дайнеко В.А., зав. кафедрой ЭСХП, к.т.н., доцент
Прищепова Е.М., ст. преподаватель, **Крупеня В.И.,** ассистент,
Шинкевич В.Н., магистрант
УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь

УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОГРУЖНОГО НАСОСА НА ОСНОВЕ МИКРОПРОЦЕССОРНОГО СЧЕТЧИКА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Ключевые слова: устройства защиты, электродвигатель, контроллер, микропроцессорный счетчик, интерфейс

Аннотация: Дано описание разработанного на кафедре универсального устройства защиты и управления электроприводом на базе микропроцессорного счетчика электроэнергии и микропроцессорного контроллера.

Разработанное устройство управления и защиты является многофункциональным и универсальным благодаря применению микропроцессорного контроллера с панелью управления и микропроцессорного счетчика. Схема устройства приведена на рисунке.

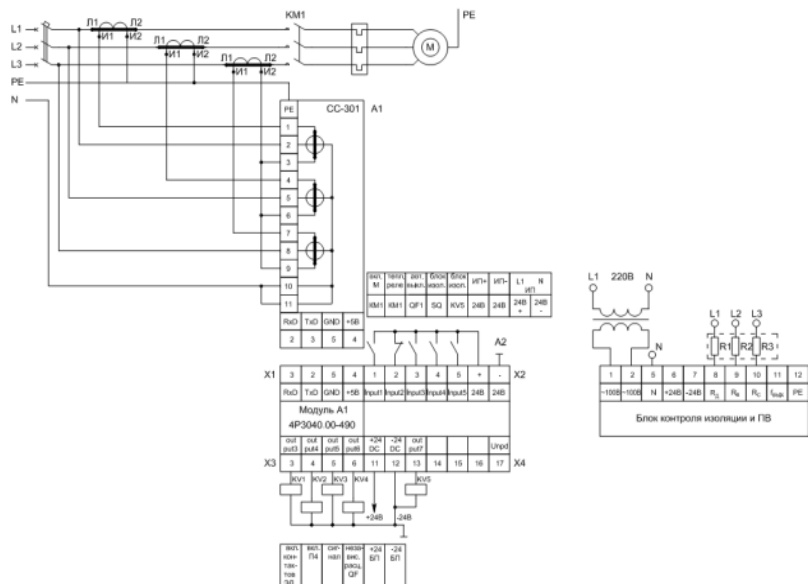


Рисунок. Устройство управления и защиты на основе микропроцессорного счетчика электрической энергии и микропроцессорного контроллера

Микропроцессорный счетчик CC-301 «Гран-электро» выполняет функцию измерительного блока напряжений, токов, мощности в трехфазной цепи. Может применяться счетчик прямого включения и счетчик, включаемый в силовую сеть через трансформаторы тока. Связь между счетчиком A1 и микропроцессорным контроллером A2 может осуществляться по цифровым интерфейсам RS-232, RS-485, а также через оптический порт. Кроме того, счетчик имеет 4 оптоэлектронных импульсных выхода, предназначенных для телеметрических каналов.

Применение микропроцессорного счетчика позволяет измерять мгновенные значения активной и реактивной мощности, фазных токов и напряжений, коэффициента мощности и частоты сети.

Класс точности счетчика по активной энергии по ГОСТ 30206-94 составляет 0,5.

Счетчик обеспечивает возможность считывания и программирования через интерфейс RS-232C (RS-485) и оптический порт параметров и данных.

Для подключения счетчика к контроллеру или к компьютеру через оптический порт может использоваться считывающая головка оптического интерфейса АПС74. Подключение АПС74 осуществляется к стандартному порту COM1 или COM2 ПЭВМ или контроллера с помощью 9-контактного соединителя.

В схеме устройства управления и защиты, приведенной на рисунке, кроме счетчика А1 использован контроллер А2 и блок контроля изоляции А3.

Разработанное универсальное устройство обеспечивает:

- управление, защиту и автоматизацию работы электропривода с трехфазным асинхронным электродвигателем;
- измерение, контроль и сигнализацию параметров электродвигателя и электропривода в целом;
- измерение, контроль и сигнализацию параметров вспомогательного оборудования;
- хранение и передачу информации по телекоммуникационной сети;
- сбор информации о состоянии технологического объекта управления с возможностью считывания данных;
- обработку входных аналоговых и дискретных сигналов и данных;
- формирование выходных дискретных сигналов и данных в соответствии с алгоритмом управления;
- возможность ввода параметров технологического процесса;
- работу в наладочном и автоматическом режимах;
- возможность связи с компьютером верхнего уровня по интерфейсной сети.

ЛИТЕРАТУРА

1. Браславский И.Я. Энергосберегающий асинхронный электропривод.- М.: Издательский центр «Академия», 2004.-256 с.
2. Счетчик электрической энергии «Гран-Электро СС-301». Руководство по эксплуатации.- Минск: Гран-Система- С, 2009,-35с.

**Дубодел И.Б., к.т.н., доцент, Кардашов П.В., к.т.н., доцент,
Городецкая Е.А., к.т.н., доцент
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь**

ПЕРСПЕКТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ КАРТОФЕЛЬНОГО СОКА

Нехватка кормового белка в рационах сельскохозяйственных животных составляет 20%. Вместе с тем, значительная часть полезных для кормопроизводства веществ, являющихся побочными продуктами переработки сельскохозяйственной продукции, не используют. Ежегодно в Республике Беларусь при производстве картофельного крахмала получают свыше 100 тыс. тонн сока, содержащего более 3 тыс. тонн белка. Существующие способы коагуляции (тепловые, химические, электротермические) позволяют выделить 50...85% белка при энергоемкости 0,15...0,40 МДж/кг.

Предлагаемый способ коагуляции белков основан на химическом действии электрического тока, позволяющий снизить энергоемкость процесса и увеличить выделение белков. Энергия коагуляции состоит из энергии межмолекулярного притяжения, электростатического отталкивания и дипольдипольного взаимодействия белковых молекул и зависит от температуры, напряженности электрического поля, электрокинетического потенциала и других факторов. Минимальную энергию коагуляции достигают изменением дзета-потенциала от 30 мВ и ниже.

Основным фактором, влияющим на величину электрохимического потенциала, является содержание ионов H^+ , характеризующееся величиной водородного показателя. Дзета-потенциал линейно приближается к нулю при снижении pH от начального значения до величины 4,6...4,8. Водородный показатель зависит и может быть изменен количеством электричества, прошедшим через картофельный сок. Коагуляция белков протекает в кислой среде анолита при $pH = 4,8...5,0$, полученной пропусканием 6,75...7,25 кКл/кг. Сопутствующим фактором коагуляции является температура, рост которой увеличивает энергоемкость процесса.

Максимальный выход белков и минимальная энергоёмкость соответствует следующим параметрам коагуляции:

- количество электричества – 6,75...7,25 кКл, кг;
- водородный показатель – 4,8...5,0;
- температура – 30...40 °С.

При этих условиях выделяется 93...97% белков при энергоёмкости процесса не более 0,05 МДж/кг.

Картофельный сок относится к ионным проводникам с удельной электрической проводимостью при 20 °С 0,56 См/м, изменяющуюся в зависимости от срока хранения на 1%, сорта картофеля – 4%, напряженности электрического поля – на 5%.

Максимальный выход белков и минимальная энергоёмкость процесса соответствует конструкции электрокоагулятора с плоскими электродами, разделенными полупроницаемой мембраной. Оптимальное соотношение анодной и катодной зон межэлектродного пространства соответствует 3,5...4,5. При этом неравномерность температуры в приэлектродном слое и ядре не превышает 2%. Использование цилиндрических коаксиальных электродов ведет к неравномерности температуры до 35%.

По скорости эрозии и виду приэлектродных реакций следует использовать для изготовления анода графит марки ГЭ, катода – нержавеющую сталь 12Х18Н9Т. В качестве разделительных мембран наиболее эффективен бельтинг, наложенный на поверхность перфорированного катода.

Производственные испытания электрокоагулятора производительностью 200 кг/ч показали выход белков 93...97%, энергоёмкость 14,8 кВт·ч/т, что по сравнению с известными способами повышает выход белков на 15...50%, снижает энергоёмкость на 30...80%.

**Забелло Е.П., д.т.н., профессор,
Дайнеко В.А., зав. кафедрой ЭСХП, к.т.н., доцент,
Прищепова Е.М., ст. преподаватель, Крупеня В.И., ассистент
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь**

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ И ПЕРЕРАБОТКИ ЗЕРНА

Ключевые слова: плющение зерна, экономия топлива, энергии, режимы работы, качество продукции.

Аннотация: Рассмотрены и проанализированы основные составляющие экономического эффекта при переходе от сушки к плющению фуражного зерна. Обеспечивается ежегодная экономия топлива более 30 млн. руб. на каждые 2 млн. тонн обрабатываемого зерна.

Согласно данным статистического ежегодника Республики Беларусь [1] посевные площади зерновых и зернобобовых культур в хозяйствах всех категорий республики в 2000 и 2016 годах соответственно составляли величины 2537 и 2385 тыс. га, т.е. имеет место некоторое уменьшение этих площадей. Однако сбор зерна по своему объему существенно вырос за это время – с 4856 тыс. т. до 7461 тыс.т., что обусловлено увеличением урожайности по всем видам зерновых и зернобобовых культур.

В республике ежегодно используется более четырех миллионов тонн зерна на фуражные цели и так как его сушка требует высоких капитальных и энергетических затрат, то в последние годы широкое распространение получила технология плющения влажного зерна с последующим внесением консерванта и закладной в хранилище. Так как при такой технологии сушка зерна не требуется, то обеспечивается возможность существенной экономии энергии только за счет перехода на названный процесс. По данным, приведенным в [1], например, при использовании сушилок СЗШ – 16, СЗСБ – 8 и СЗК – 8 удельные расходы электроэнергии на сушку одной тонны зерна составляют от 3,0 до 4,9 кВт·ч. Еще более высокие затраты энергии идут на дробление зерна – до 14,5 кВт·ч/т в

дробилках ДБ – 5 и ДКР – 2 (РБ) и до 12,8 кВт·ч/т – в агрегатах зарубежного производства [2]. Согласно данным [3] расходов электроэнергии на плющение зерна составляет 2,3 кВт·ч/т, т.е. приблизительно в 2 раза ниже, чем расход на его сушку. Таким образом, с ростом веса зерна, прошедшего операцию плющения сокращение объемов электропотребления и соответственно платы за энергию составит величину:

$$\Pi_{\text{э1}} = 0,5 \cdot Z_n \cdot W_{\text{удэ}} \cdot T, \quad (1)$$

где Z_n - вес зерна, прошедшего операцию плющения, т,

$W_{\text{удэ}}$ -удельные затраты электроэнергии на сушку зерна, кВт·ч/т,

T - тариф на электроэнергию, руб/ кВт·ч.

При $Z_n = 2$ млн.т., $W_{\text{удэ}} = 4$ кВт·ч/т, $T = 0,2$ руб/кВт·ч.

$$\Pi_{\text{э1}} = 0,5 \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot 4 \cdot 0,2 = 0,8 \text{ млн.руб.}$$

Второй составляющей ($\Pi_{\text{э1}}$) экономии энергии на обработку фуражного зерна является исключение из процесса его обработки затрат на топлива. Так, при применении сушилок СЗШ – 16, СЗСБ – 8, СЗК - 8 на каждую тонну высушенного зерна в среднем тратится 8,5; 11-12 и 7 кг условного топлива соответственно на каждом из типов сушилок. Рассчитаем величину составляющей $\Pi_{\text{э2}}$, преобразовав выражение (1) следующему:

$$\Pi_{\text{э2}} = Z_n \cdot \bar{W}_{\text{удт}} \cdot T, \quad (2)$$

В (2) значение $\bar{W}_{\text{удт}}$ примем равным средней величине из его значений по приведенным выше типам сушилок. В результате получим:

$$\bar{W}_{\text{удт}} = \frac{8,5 + 11,5 + 7}{3} = 9 \frac{\text{кгУТ}}{\text{т}} = 0,009 \cdot 8130 = 79,17 \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{т}}, \quad (3)$$

Как видно из (3) в расчете использован переводной коэффициент, равный 8130, применяемый при перерасчете единиц количества энергии. Поставляя значение $\bar{W}_{\text{удт}}$ в (2) определим значение $\Pi_{\text{э2}}$:

$$П_{э2} = 2 \cdot 10^6 \cdot 79,17 \cdot 0,2 = 31,668 \text{ млн.руб.}$$

Третью составляющую эффекта от применения анализируемого процесса (плющение зерна) можно получить используя дифференцированным по часам суток тариф на электроэнергию (ночные часы, часы полупиковых и пиковых нагрузок) минимальное значение которого может быть меньше максимального приблизительно в три раза. При обеспечении технологической возможности применять агрегаты плющения зерна в часы минимальных нагрузок в энергосистеме можно получить существенную составляющую экономии платы за более дешевую энергию (например, в 2 раза). В этом случае такая составляющая будет равна 0,4 млн. руб., если в формуле (1) принять значение $T_1 = 0,5T$.

Как видно из приведенных оценок результатов перехода к процессам плющения фуражного зерна в значительных объемах экономический эффект, получаемый при этом переходе может составить более 30 млн. рублей за год на каждые два миллиона тонн обрабатываемого зерна.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сельское хозяйство Республики Беларусь. Статистический сборник / Минск. – 2017.
2. Дайнеко В.А. Применение электрической энергии в сельском хозяйстве: Учеб. пособие / В.А. Дайнеко, А.В. Крутов. – Мн.: Ураджай. – 2001. – 300с.
3. Селезнев А.Д. Энергосберегающий процесс измельчения зерна / А.Д. Селезнев, В.Н. Савиных, А.М. Тарасевич: Аграрная энергетика в XXI столетии. Материалы III-й Международной научно-технической конференции. – Минск. – 21-23 ноября 2005 г.
4. Селезнев А.Д. Энергосбережение при заготовке влажного плющеного зерна / Селезнев А.Д., Савиных В.Н., Гаврилович С.В. Аграрная энергетика в XXI столетии. Материалы III-й Международной научно-технической конференции. – Минск. – 21-23 ноября 2005 г.
5. Прищепова Е.М. Снижение удельных энергозатрат вальцового плющилки зерна / Энергосбережение – важнейшее условие инновационного развития АПК. Материалы Международной научно – практической конференции. – Минск. – ноябрь 2013 г.

**Занкевич В.А., к.ф.-м.н., доцент, Булко М.И., ст. преподаватель,
Ожелевский А.В., старший преподаватель
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь**

К ВОПРОСУ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ

Ключевые слова: энергоэффективность, электропривод, электро-мобили, гибридные автомобили, ДВС, аккумуляторные батареи.

Аннотация: проведен расчет энергоэффективности электро-мобилей и гибридных автомобилей с параллельной схемой вклю-чения силовых установок.

В последние два десятилетия наблюдается тенденция к увеличению выпуска электромобилей (электрокар) основными производителями легковых автомобилей (Ford (Fokus Electric), Nissan (Leaf), Toyota (RAV4EV), Tesla (Roadster и Model S) и др.). Это связано со многими причинами, но в первую очередь – с ужесточением требований стран Европейского союза (ЕС) по выбросу токсичных веществ (ТВ), отработанных газов (ОГ) автотранспорта в атмосферу, особенно в крупных городах. Так, за два десятилетия Евростандарт по экологии менялся 5 раз с Евро-2 до Евро-6.

Электромобили относятся к малотоксичным транспортным городским средствам, основными конструктивными элементами которых являются: тяговый электродвигатель (один или несколько), питание электродвигателя, инвертор, бортовое зарядное устройство, преобразователь постоянного тока, электронная система управления, механическая трансмиссия (одноступенчатый редуктор). Питание тягового трехфазного асинхронного (синхронного) электродвигателя переменного тока осуществляется от солнечной батареи, топливных элементов, аккумуляторной батареи (АБ) или батареи ионисторов (БИ). Наибольшее распространение получили электромобили с АБ и БИ. Эксплуатация электромобиля экономически выгодна в странах, где производство электроэнергии в меньшей степени зависит от невозобновляемых источников топлива и имеются избытки электрической энергии. В настоящее время РБ экспортирует электроэнергию

из РФ и Украины, но с вводом в эксплуатацию первой очереди АЭС в РБ картина изменится. Значительные избытки электроэнергии в ночные часы (до 64 %) при номинальном режиме работы АЭС можно компенсировать за счет зарядки АБ электромобилей в ночное время [3]. Данные избытки электроэнергии в ночные часы можно компенсировать введением понижающих тарифов на электроэнергию в ночные часы для населения и предприятий, минимизация расхода природного газа на многих ТЭЦ. Сдерживают массовое производство электромобилей в мире: высокая стоимость электромобиля и АБ; ограниченная автономность; значительное время зарядки аккумуляторов; увеличение веса автомобиля за счет веса АБ; экологические проблемы утилизации АБ [1–3].

Энергетическая эффективность электромобиля оценивается по КПД электропривода: $\eta_{\text{п}} = \eta_{\text{дв}} \cdot \eta_{\text{эм}} \cdot \eta_{\text{пр}}$ ($\eta_{\text{дв}}$ – КПД электродвигателя, $\eta_{\text{эм}}$ – КПД передачи, $\eta_{\text{пр}}$ – КПД преобразования) и удельному расходу топлива $b = B/N_{\text{е}}$ (B – расход топлива на выработку электроэнергии, $N_{\text{е}}$ – эффективная мощность). Для определения коэффициента использования топлива электромобиля, расчета приведенных затрат необходимо знать потери электроэнергии во всей цепочке от замыкающей КЭС до потребителя $\eta_{\text{с}} = \eta_{\text{кэс}} \cdot \eta_{\text{лэп}} \cdot \eta_{\text{аб}} \cdot \eta_{\text{дв}} \cdot \eta_{\text{эм}} \cdot \eta_{\text{пр}}$. К примеру на Лукомльской ГРЭС $\eta_{\text{кэс}} = 0,4$, удельный расход топлива $b = 308$ г у.т./кВт·ч, стоимость природного газа порядка 200 у.е./кг у.т., то получим $\eta_{\text{с}} = 0,23$ при $\eta_{\text{кэс}} = 0,4$, $\eta_{\text{лэп}} = 0,91$, $\eta_{\text{аб}} = 0,85$, $\eta_{\text{дв}} = 0,9$ при $N_{\text{д}} = 50$ кВт, $\eta_{\text{эм}} = 0,85$, $\eta_{\text{пр}} = 0,98$. Для паротурбинной АЭС с $\eta_{\text{аэс}} = 0,32$, стоимость топлива порядка 38 у.е./кг у.т., $\eta_{\text{с}} = 0,21$. Среди общественного транспорта интерес представляют электробусы с питанием не от АБ, а от БИ, к примеру, электробусы фирмы Hyundai Motors. КПД электропривода электробуса на 10 – 15 % выше КПД электропривода электромобиля.

В гибридных автомобилях малого класса сочетается работа ДВС с тяговым электродвигателем. За счет дополнительной мощности тягового электродвигателя уменьшается мощность ДВС. В отличие от силовой схемы электромобиля в гибридной имеется генератор с приводом от ДВС, ДВС работает в зоне максимальной топливной экономичности. Генератор вырабатывает электрический ток и обеспечивает зарядку АБ и питание обмотки тягового электродвигателя. Гибридные системы включают последовательную, параллельную, комбинированную конструктивную схему гибридных силовых уста-

новок [2, 3]. Большинство производимых гибридных автомобилей относится к параллельным. К основным узлам гибридных автомобилей параллельного типа относятся: ДВС, генератор, электродвигатель, раздаточная коробка передач, инвертор, АБ, блок управления и контроля. При движении по загородной трассе работает ДВС, эффективный КПД карбюраторного ДВС $\eta_e \approx 0,22$, происходит зарядка АБ. При движении на подъем работает одновременно ДВС и тяговый электродвигатель и эффективный КПД на валу $\eta_d = \eta_e + (v \cdot \eta_g \cdot \eta_{AB} \cdot \eta_{пр} \cdot \eta_{эд} \cdot \eta_{преоб})$, где $v = N_{езд}/N_e$, η_g – КПД генератора, η_{AB} – КПД АБ. Значение $\eta_d \approx 0,37 \div 0,45$. При работе в городе движение автомобиля происходит от тягового электродвигателя $\eta_d \approx 0,20$. При торможении механическая энергия рекуперируется в электрическую энергию, которая используется для зарядки АБ, при этом возникает интенсивное электромагнитное излучение. Электронный блок управления обеспечивает оптимальные изменения момента сил и скорости вращения вала во всех режимах движения. Расход топлива в 2,0 – 2,4 раза меньше, чем в автомобиле с базовым двигателем, и зависит от типа и мощности ДВС. Количество выбрасываемых ТВ в атмосферу гибридными автомобилями уменьшается на 40 – 45 %, уровень шума понижается на 4 – 6 Дб по сравнению с базовым аналогом, но концентрация ТВ в ОГ не меняется.

В заключении следует отметить, что расчеты параметров энергоэффективности проводились для номинального режима движения и носят оценочный характер.

ЛИТЕРАТУРА

1. Падалко, Л.П. Альтернативные энергоносители на автотранспорте / Л.П. Падалко, Ф.Ф. Иванов, В.И. Кузменок. – Минск: Навукова думка, 2017. – 263 с.
2. Пришествие электромобиля наступит скорее, чем мы думаем [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rodovid.me.html>. – Дата доступа: 30.10.2017.
3. Соснин, Д.А. Новейшие автомобильные электронные системы. – Москва: СОЛОН-Пресс, 2005. – 239 с.

Заяц Е.М.¹, Чорный А.Д.², Янко М.В.¹

¹УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»;

**²ГНУ «Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова
НАН Беларуси»**

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОРОННОГО РАЗРЯДА В ЭЛЕКТРОКИНЕТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

Современные электронно-ионные технологии (электрогазоочистка, электросепарация, пылеулавливание, электроокраска, охлаждение элементов электроники и т. д.) представляют собой попытки реализации на практике возможностей управления газовыми потоками с помощью электрического поля [1]. Прежде всего это связано с повышенным интересом к способам формирования скоростных газовых потоков без использования механических систем, таких как турбины и вентиляторы, за счет применения электрогазодинамического потока – физического явления коллективного движения среды, возникающего в результате образования заряженных частиц, которые дрейфуют под действием электрического поля и передают свой импульс нейтральным компонентам среды при столкновениях. Источниками потока заряженных частиц могут служить, как униполярный коронный разряд, так и диэлектрический барьерный разряд. К этому явлению относится такой эффект как электрический или ионный ветер, который может приводить к ускорению движения силами электрического поля [1, 2]. Существует ряд причин возникновения электрического ветра – инжекция зарядов с электродов, зависимости электрических свойств среды от температуры и самого электрического поля. Известно, что лабораторные эксперименты затруднены в силу одновременного присутствия большого механизма зарядообразования среды. Моделирование позволяет расчленить механизмы и исследовать их по отдельности, поскольку в настоящее время расчеты и проектирование электротехнологических установок в значительной мере базируется на основе данных эксперимента.

Теоретическая постановка и анализ общей задачи электрогазодинамики обычно сводиться к рассмотрению одномерных моделей течения газовой среды [1], что позволяет получение результатов, не допускаю-

ших учета анизотропных свойств среды, неоднородности электрического поля, а также геометрических особенностей конструкции установок.

Цель настоящей работы – определить исходные положения, описывающие перенос заряженных частиц в воздухе при действии коронного разряда применительно к задаче электроконвекции. В качестве устройства рассматривается плоский канал с установленным нагревательным элементом как прототип нагревательного устройства.

Известно [1, 2], что коронный разряд возникает в газовой среде при подаче высокого напряжения на электроды. Образование зоны ионизации около одного из электродов приводит к дальнейшему переносу заряженных частиц от этой зоны к противоположному электроду следующими механизмами – миграцией ионов в воздухе, конвекцией за счет потока воздуха и диффузией. Рассмотрим достаточную систему уравнений электрогазодинамики для моделирования процессов переноса в рассматриваемой газовой среде. Перенос ионов описывается двумя фундаментальными уравнениями.

Для напряженности электрического поля имеем уравнение Пуассона:

$$\frac{\partial \epsilon_r E_k}{\partial x_k} = - \frac{\partial}{\partial x_k} \left(\epsilon_r \frac{\partial \Phi}{\partial x_k} \right) = \frac{\rho_e}{\epsilon_0}, \quad (1)$$

где вектор напряженности $\vec{E} = - \frac{\partial \Phi}{\partial x_k} \vec{i}_k$, Φ – электрический потенциал; ρ_e – объемная плотность заряда (Кл/м³); ϵ_0 – электрическая постоянная (8.85418782*10⁻¹² Ф/м=Кл/(В·м)).

Относительная диэлектрическая проницаемость ϵ_r воздуха слабо меняется с температурой, поэтому примем ее значение равным 1.00025. Далее под диэлектрической проницаемостью воздуха будем абсолютную диэлектрическую проницаемость $\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0$.

Уравнение баланса полного тока включает вклад вышеупомянутых механизмов переноса [2, 3]:

$$\frac{\partial j_k}{\partial x_k} = \frac{\partial}{\partial x_k} \left(\gamma \rho_e E_k + \rho_e V_k - D_e \frac{\partial \rho_e}{\partial x_k} \right) = 0, \quad (1)$$

где V_k – компоненты вектора скорости, м/сек, γ – подвижность ионов в воздухе, м²/В сек, ρ_e – объемная плотность заряда. Миграция ионов в воздухе $\gamma \rho_e E_k$ обусловлена их подвижностью γ и диффузией D_e и зависит от температуры согласно формуле Нернста-Эйнштейна:

$$\gamma = \frac{FD_e}{R_g T}, \quad (2)$$

где T – температура, К, $F = 96487$ Кл/моль – число Фарадея, R_g – универсальная газовая постоянная ($R_g = 8.314472$ Дж/моль·К).

Коэффициент диффузии ионов может быть представлен согласно теории Чепмена-Энскога [3]:

$$D_e = \frac{1}{3} \sqrt{\frac{8R_g T}{\pi M}} \frac{k_B T}{\sqrt{2} \pi d_M^2 p}, \quad (3)$$

где k_B – постоянная Больцмана ($k_B = 1.38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К); d_M – эффективный диаметр иона, м; M – молярная масса иона, г/моль; p – гидростатическое давление, Па.

Последние формулы позволяют оценить относительный вклад в перенос миграции и диффузии с учетом зависимости от температуры. Примем коэффициент диффузии ионов равным коэффициенту диффузии молекул кислорода в воздухе (для кислорода $M = 32$ г/моль, примем $d_M = 0.36$ нм). При комнатной температуре ($T = 291.15$ К) и нормальном давлении ($p = 1.013 \cdot 10^5$ Па), согласно формуле (3), коэффициент диффузии $D_e = 1.008276 \cdot 10^{-5}$ м²/сек, тогда как при $T = 373$ К уже $D_e = 1.462 \cdot 10^{-5}$ м²/сек – изменение почти на 50%. Подвижность ионов согласно формуле (2) $\gamma = 4.02 \cdot 10^{-4}$ м²/В сек при $T = 291.15$ К, в свою очередь $\gamma = 4.55 \cdot 10^{-4}$ м²/В сек при $T = 373$ К. Как видно подвижность ионов гораздо медленнее меняется с температурой и может быть принята постоянной. Следует отметить, что коэффициент диффузии гораздо меньше по значению подвижности и вклад диффузионного переноса обычно мал в уравнении (1) по сравнению с миграцией и конвекцией. Таким образом, перенос ионов осуществляется преимущественно двумя механизмами – миграцией и конвекцией, создающими условия электроконвекции при действии электрического поля. Тогда с учетом формулы (1) объемная плотность заряда может быть рассчитана как

$$\rho_e = |j_k| / |\gamma E_k + V_k|, \quad (4)$$

где в числителе и знаменателе стоят абсолютные величины соответствующих векторов, а плотность тока может быть рассчитана из уравнения для потенциальной функции Ψ , такой что $\vec{j} = -\frac{\partial \Psi}{\partial x_k} \vec{i}_k$ и

$$\frac{\partial j_k}{\partial x_k} = -\frac{\partial^2 \Psi}{\partial x_k^2} = 0, \quad (5)$$

Вектор массовой силы, действующей со стороны электрического поля на воздушный поток, определяется как

$$f_k^e = \rho_e E_k - \frac{1}{2} |E_k|^2 \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_k} + \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial x_k} \left(|E_k|^2 \rho \frac{\partial \varepsilon}{\partial \rho} \right), \quad (6)$$

где ρ – плотность воздуха.

Поскольку градиент диэлектрической проницаемости ε мал (для воздуха его изменение составляет 0.1% при изменении температуры на 1000 градусов), вторым членом в правой части (6) можно пренебречь, как и третьим, поскольку стрикционное давление существенно при присутствии межфазных взаимодействий [1]. Таким образом, массовая сила f_k^e задается электрическим полем и объемной плотностью заряда. Поскольку масса ионов обычно мала, их влиянием на воздушный поток, подобным тяжелым частицам, можно также пренебречь.

Движение нагреваемого воздушного потока опишем следующей системой уравнений для стационарного течения:

$$\text{Уравнение неразрывности} \quad \frac{\partial \rho V_k}{\partial x_k} = 0, \quad (7)$$

Уравнения сохранения количества движения:

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho V_k V_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_k} + \frac{\partial \tau_{jk}}{\partial x_j} + f_k^e + \rho g_k \delta_{ik}. \quad (8)$$

Здесь g_k – компоненты вектора ускорения свободного падения. Тензор вязких напряжений представляет собой зависимость

$$\tau_{jk} = \mu \left(\frac{\partial V_j}{\partial x_k} + \frac{\partial V_k}{\partial x_j} \right) - \frac{2}{3} \delta_{jk} \frac{\partial V_j}{\partial x_j}, \quad (9)$$

где динамическая вязкость воздуха определяется по формуле Сазерленда

$$\mu = \mu_0^* \left(\frac{T}{T_0^*} \right)^{1.5} \left(\frac{T_0^* + C}{T + C} \right), \quad (10)$$

Постоянная Сазерленда для воздуха $C = 120$ К, динамическая вязкость воздуха $\mu_0^* = 1.827 \cdot 10^{-5}$ Па·сек при $T_0^* = 291.15$ К.

Уравнение энергии (тепловой энтальпии)

$$\frac{\partial \rho C_p T V_k}{\partial x_k} = \frac{\partial}{\partial x_k} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x_k} \right) + \gamma \rho_e |\vec{E}|^2 - \rho_e E_k V_k, \quad (11)$$

где C_p – теплоемкость воздуха (примем постоянной 1005 Дж/кг К).

Для теплопроводности воздуха λ будем использовать аналогию Прандтля – число Прандтля $Pr^* = C_p \mu_0^* / \lambda_0^*$, что позволяет рассчитать λ из соотношения $\lambda = \mu C_p / Pr^*$,

где $\lambda_0^* = 2.485 \cdot 10^{-2}$ Вт/м·К при $T_0^* = 291.15$ К и нормальном давлении p_0^* . Для воздуха при нормальных условиях $Pr^* = 0.74$.

Второй член в правой части уравнения (11) представляет собой Джоулев нагрев, третий член связан с кинетической работой, совершаемой ионами в потоке воздуха. Поскольку локальный нагрев может приводить к изменению плотности воздуха, то для расчета плотности используется уравнение совершенного газа:

$$p = \rho \frac{R_g}{M} T. \quad (12)$$

Уравнения–(12) должны быть дополнены граничными условиями, связанными с конкретной постановкой задачи.

Представим расчётную область как сужающийся вертикальный плоский канал, в плоскости симметрии которого установлен нагревательный элемент 1, эмиттирующий 2 и осадительный 3 электроды (Рис. 1). Для описания течения и поля объёмной плотности зарядов использовалась декартова система координат, начало которой совпадало с левым нижним углом расчетной области. Ось x была направлена горизонтально, ось y – вертикально.

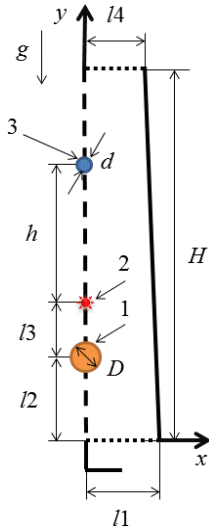


Рисунок 1 – Расчетная область вертикального плоского канала

На твердой стенке канала H принимаются условие электроизоляции и непротекания заряда, условия прилипания для скорости (компоненты скорости равны нулю) и условие теплового потока, заданного через эффективный коэффициент теплоотдачи через стенку в окружающую среду $\alpha = 1 / \alpha_{env} + l_w / \lambda_w^{-1}$, Вт/(м²·К);

коэффициент теплоотдачи от внешней поверхности стенки в окружающую среду $\alpha_{env} = 8 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$ (комнатные условия), l_w и λ_w – толщина и теплопроводность стенки ($l_w = 1 \text{ мм}$ и $\lambda_w = 16 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$). На границе l_4 и l_1 задавалось противодействие (давление окружающей среды) и $\frac{\partial V_k}{\partial y} = \frac{\partial \Phi}{\partial y} = \frac{\partial \Psi}{\partial y} = \frac{\partial T}{\partial y} = 0$. В плоскости симметрии

выполняются условия $\frac{\partial V_x}{\partial x} = V_y = \frac{\partial \Phi}{\partial x} = \frac{\partial \Psi}{\partial x} = \frac{\partial T}{\partial x} = 0$. Для нагре-

вательного элемента $U = V = \frac{\partial \Phi}{\partial n} = \frac{\partial \Psi}{\partial n} = 0$, $\lambda \frac{\partial T}{\partial n} = q_H$, где q_H – тепловой поток, определяемый параметрами нагревательного элемента. На осадительном электроде $U = V = \Phi = \frac{\partial \Psi}{\partial n} = \frac{\partial T}{\partial n} = 0$. На

коронирующем эмитирующем электроде $U = V = \frac{\partial T}{\partial n} = 0$. Для па-

раметров электрического поля $\Phi = \Phi_0$ и $|j_k| = j_0$, которое связано с условием для объемного заряда $\rho_e = \rho_{e0}$. Граничные условия для объемного заряда требуют дополнительного обсуждения. В окрестности коронирующего электрода существует область ионизации. Когда расстояние между эмитирующим и осадительным электродами достаточно большое, то зона ионизации формирует однородную оболочку вокруг поверхности эмитера. Обычно при моделировании толщину этой оболочки оценивают и исключают из области моделирования. С этой целью критическую напряженность E_{th} на поверхности коронирующего электрода с радиусом R_w , необходимую для инициирования процесса ионизации, определяют с помощью эмпирической формулы Пика:

$$E_{th} = E_0 \alpha \rho_r (1 + \beta (\rho_r R_w)^{-s}), \quad (13)$$

где α – коэффициент шероховатости поверхности электрода ($0 < \alpha \leq 1$; $\alpha = 1$ для гладкой поверхности), относительная плотность $\rho_r = p T_0^* / (p_0^* T)$, p и T – давление и температура в области

ионизации, R_w – радиус коронирующего электрода, м, $s = 0.5$, $E_0 = 31$ кВ/см, $\beta = 0.0308$ [3].

Приложенный электрический потенциал Φ_w должен быть достаточно большим и конечно больше, чем Φ_{th} , задаваемый формулой Пика через E_{th} , когда напряженность электрического поля на коронирующем электроде $E_w \geq E_{th}$. Таким образом, поскольку радиус коронирующего электрода намного меньше расстояния между электродами, электрический потенциал и напряженность электрического поля изменяются вдоль радиуса r в области ионизации как

$$\Phi = \Phi_w - E_w R_w \ln(r / R_w), \quad (14)$$

$$E = E_w R_w / r. \quad (15)$$

На границе зоны ионизации реализуется напряженность E_0 по предположению Капцова [4]. Тогда радиус зоны ионизации R_0 находится по формулам (13) и (15):

$$R_0 = R_w E_w / E_0 \geq R_w \alpha \rho_r (1 + \beta (\rho_r R_w)^{-s}), \quad (16)$$

Тогда как значение электрического потенциала Φ_0 на границе области ионизации определяется согласно формул (14) и (15):

$$\Phi_0 = \Phi_w - E_w R_w \ln(E_w / E_0), \quad (17)$$

Однако исключение из расчета области ионизации может приводить к переоценке электрогидродинамического давления в окрестности эмиттера [2, 4]. Поэтому в нашем случае проводился прямой расчет с учетом наличия области ионизации, а эта область разрешалась сеточно.

Электроконвекция воздуха нагретого воздуха внутри канала инициировано естественной конвекцией от нагревательного элемента за счет конкуренции архимедовой силы и силы тяжести, а также за счет миграции и конвекции заряженных частиц (ионов). Рисунок 2 демонстрирует характерные распределения, полученные при моделировании такого процесса с использованием метода конечных объемов ($q_H = 22$ кВт/м², $\Phi_0 = 15$ кВ, $j_0 = \sqrt{\frac{\varepsilon}{\rho}} E_0 \rho_{e0}$,

$\rho_{e0} = 1e-6$).

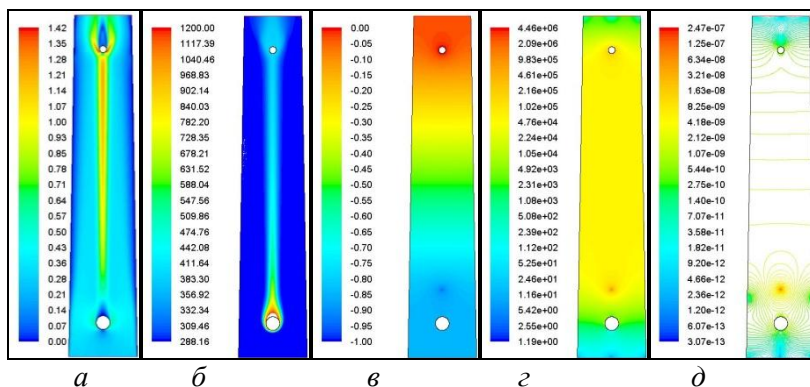


Рисунок 2 – Распределение характерных параметров при электроконвекции в плоском канале: а – абсолютное значение скорости, б – температура, в – нормализованный электрический потенциал Φ / Φ_0 , г – абсолютное значение напряженности электрического поля, д – абсолютное значение плотности электрического поля

Таким образом, приведенная теоретическая постановка общей задачи электрогазодинамики позволяет получение результатов, учитывающих переменные свойства среды и геометрических особенностей, для анализа неоднородности как самого электрического поля, а также обратного влияния его свойств на движение газовой среды. Дальнейшая работа связана с применением модели для расчета реальных нагревательных устройств с целью оптимизации их работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рубашов, И. Б. Электрогазодинамика / И.Б. Рубашов, Ю.С. Бортников. – Москва : Атомиздат, 1971. – 167 с.
2. Жакин, А. И. Электродинамика / А.И. Жакин // Успехи физических наук. – 2012. – Том 128, № 5. – С. 495–520.
3. Melcher, J. R. Continuum Electromechanics / J.R. Melcher. – Cambridge, MA : MIT Press, 1981. – 635 p.
4. Капцов, Н.А. Физические явления в вакууме и разреженных газах / Н.А. Капцов. – Москва : Главная редакция физико-математической литературы, 1937. – 440 с.

**Кашкарёв А.А., к.т.н., доцент, Диордиев А.А., аспирант
*Таврический государственный агротехнологический
университет, г. Мелитополь, Украина***

УПРАВЛЕНИЕ МИКРОКЛИМАТОМ В ТЕПЛИЦЕ С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЙ

Ключевые слова: Аэрозоль, теплица, микроклимат, температура

Аннотация. Предложен электротехнологический комплекс для охлаждения каркасных теплиц. Принцип действия основан на работе центробежного генератора электроаэрозоля. Обозначены задачи дальнейших исследований.

Сегодня тепличное хозяйство малых предприятий и домохозяйств требует внедрения современных технологий, которые позволят снизить потери энергетических ресурсов и повысить эффективность технологического процесса [3]. Одной из таких технологий является туманообразование в теплицах, которое используется для полива растений и саженцев, охлаждения теплиц, управление тепловой инерцией теплиц.

В принципе действия системы туманообразования лежит процесс испарения жидкости (в данном случае воды), т.е. при испарении вода переходит из жидкого состояния в газообразное, при этом из окружающего пространства отбирается необходимое для нагрева ($4,18 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$) и испарения ($2,256 \text{ кДж}/\text{кг}$) количество тепловой энергии - понижается температура окружающей среды. Но поскольку у воды одно из самых высоких в природе значений коэффициента теплоемкости фазового перехода, для оптимальной работы системы рекомендовано измельчать воду до размера капли от 3 до 7 мкм [4], в результате чего достигается эффект быстрого испарения и повышается эффективность работы системы. Предел испарения влаги в теплице ограничивается точкой росы при данной температуре – влажность воздуха 100% [1].

Необходимую массу распыливаемой жидкости можно определить по выражению

$$m_e = \Delta d \cdot V_e \frac{346}{273 + t_e} \cdot \frac{p}{99,3}, \quad (1)$$

где Δd – разность влагосодержания воздуха, кг/кг;

p – атмосферное давление, кПа;

t_e – температура воздуха, °C;

V_e – объем воздуха, м³.

Простейший случай испарения сферической капли [1], неподвижной по отношению к бесконечно протяженной однородной среде, рассмотрел Максвелл Д.

$$I = 4\pi \cdot r \cdot D \frac{M}{RT} (\rho_{\text{нас}} - \rho_{\infty}), \quad (2)$$

где D – коэффициент взаимной диффузии паров вещества и молекул среды, м²/с;

M – молярная масса испаряющегося вещества в газообразном состоянии, кг/моль;

r – радиус капли, м;

R – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К);

T – температура диффундирующего газа, К;

$\rho_{\text{нас}}$ – плотность насыщенного пара над каплей, кг/м³;

ρ_{∞} – плотность пара на бесконечно большом расстоянии от капли, кг/м³.

Уменьшение радиуса одиночной капли в процессе испарения описывается формулой Максвелла

$$r^2 = r_0^2 - \frac{2D}{\rho_{\text{ж}}} (c_0 - c_{\infty}) \tau_{\text{исп}} \rightarrow 0, \quad (3)$$

где r_0 – начальный радиус капли, м;

c_0 – концентрация пара у поверхности капли, кг/м³;

ρ^{∞} – концентрация пара в окружающей среде, кг/м³.

В работах Лекомцева П.Л. было рассмотрено увлажнение воздуха и получены характеристики испарения капель в зависимости от расстояния от центробежного генератора электроаэрозоля (рис. 2) [1]. Представленные характеристики показывают возможность управляемого охлаждения теплицы.

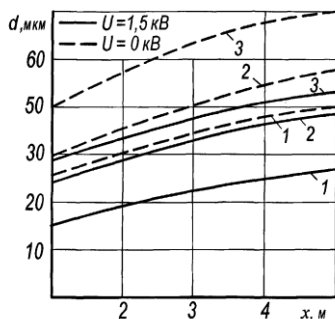


Рис. 2. Зависимость диаметра d капли для увлажнения воздуха от расстояния до генератора аэрозоля x : 1 – $t_b=15^\circ\text{C}$; 2 – $t_b=20^\circ\text{C}$; 3 – $t_b=25^\circ\text{C}$;

Выводы. Предложена технология управляемого охлаждения теплицы, которая менее требовательна к качеству воды.

За счет использования электротехнологий возможно увеличить эффективность охлаждения.

Дальнейшие исследования будут направлены на формализацию системы автоматического управления и определения режимов работы в условиях динамически изменяющихся температурных полей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лекомцев П. Л. Электроаэрозольные технологии в сельском хозяйственном производстве [Текст]: дис. ... доктора техн. наук : 05.20.02 / Лекомцев Петр Леонидович. – М., 2006. – 314 с.
2. Новіков Г.В. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів та режимів роботи електротехнологічного комплексу аерозольної обробки насіння зернових [Текст]: дис. ... кандидата техн. наук: 05.09.03 / Новіков Геннадій Володимирович. – Мелітополь. - 2016. – 185 с.
3. Официальный сайт компании Rain&Fog. Туманообразование. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.poliv-tuman.com.ua/904-2/>
4. Система туманообразования для теплиц [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.fogfresh.com.ua/agriculture.htm>

**Кардашов П.В., к.т.н., доцент, Дубодел И.Б., к.т.н., доцент,
Корко В.С., к.т.н., доцент, Рубан С.С., магистрант
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь**

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОАКТИВИРОВАННЫХ РАСТВОРОВ НА СЕМЕНА ТОМАТОВ

Ключевые слова: Предпосевная обработка семян, электрохимически активированные растворы, всхожесть, энергия прорастания.

Аннотация. В статье представлены результаты экспериментальных исследований влияния электроактивированных водных растворов на энергию прорастания и всхожесть семян томатов.

Увеличение производства и повышение урожайности сельскохозяйственной продукции является одним из приоритетных направлений хозяйственного развития Республики Беларусь. Однако потенциальные возможности высеваемых культур используются далеко не полностью.

Одним из важнейших этапов в растениеводстве является предпосевная обработка семян с целью повышения их энергии прорастания, всхожести, устойчивости к вирусным инфекциям, что в конечном итоге приводит к увеличению урожайности.

Для активизации процесса прорастания семян в свое время были предложены различные физические (температурные, ультразвуком, электрическим и магнитным полем) и химические (бактерицидные, фунгицидные, микроэлементные препараты) методы, однако большинство из них по тем или иным причинам не получили широкого распространения.

Кроме того, под действием препаратов для обеззараживания семян происходит нарушение нормального развития и обмена веществ растений. Многочисленные экспериментальные исследования показали, что пестициды оказывают отрицательное воздействие на растения: подавляют синтез хлорофилла; вызывают нарушения хлорофилл-белково-липидного комплекса и системы фотохимических реакций; снижают интенсивность транспирации

растений; вызывают уменьшение содержания сухих веществ и крахмала; подавляют процессы окислительного фосфорилирования в митохондриях клеток семян и растений [1].

Успешное решение проблемы, по повышению урожайности, требует применения современных высокоэффективных технологий предпосевной подготовки посевного и посадочного материала.

Одним из наиболее перспективных методов предпосевной обработки семян, на наш взгляд, является их обработка электрохимически активированными растворами (анолит, католит, смесь католита с анолитом).

Одними из основных посевных показателей качества семян, определяемых государственными стандартами, является их лабораторная энергия прорастания и всхожесть.

С целью изучения влияния электроактивированных растворов с различным уровнем водородного показателя (рН) и окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) на вышеуказанные стандартные показатели, при обработке семян томатов, были проведены экспериментальные исследования.

В качестве объекта активирования использовали раствор поваренной соли NaCl концентрацией 4 г/л в водопроводной воде, имеющей исходные рН = 7,3...7,5 и ОВП = +250...+309 мВ. Электроактивированные растворы, параметры которых представлены в таблице 1, приготовлены в экспериментальном электрохимическом реакторе, с анодной и катодной камерой, разделенной ионопроницаемой мембраной.

Таблица 1 – Показатели электроактивированных растворов

Католит		Анолит		Смесь католита и анолита 1:1	
рН	ОВП, мВ	рН	ОВП, мВ	рН	ОВП, мВ
7,8...8,2	-350...-530	5,1...6,0	+600...+807	3,1...4,1	+390...+600

Эффективность воздействия электрохимически активированных растворов на семена томатов, оценена путем определения энергии прорастания и всхожести образцов по отношению к контрольным партиям.

Результаты обработки семян томатов электроактивированными растворами представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Влияние электрохимически активированных растворов на всхожесть и энергию прорастания семян томатов

Показатели	Фракции электрохимически активированных растворов			
	Контроль	Католит	Анолит	Смесь католита и анолита (1:1)
Энергия прорастания, %	20	32.5	23.9	25
Всхожесть, %	75	85	84,8	75

В результате экспериментальных исследований установлено, что приблизительно при одинаковой всхожести на энергию прорастания семян томатов, наибольшее влияние оказывает щелочная фракция электроактивированного раствора – католит.

Основными преимуществами применения электроактивированных растворов являются высокая биологическая и физико-химическая активность растворов как заменителей экологически вредных химических веществ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Основы растениеводства: учебное пособие / И.П. Козловская [и др.] под ред. И.П. Козловской. – Минск : Беларусь, 2010. – 328 с.

Квитка С.А., к.т.н., доцент, Вовк А.Ю., к.т.н., доцент
Таврический государственный агротехнологический университет, г. Мелитополь

УСТРОЙСТВО КОНТРОЛЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ И ЗАЩИТЫ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ОТ АВАРИЙНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ

Ключевые слова: асинхронный электродвигатель, функциональное состояние, аварийные режимы работы, устройство контроля и защиты.

Аннотация. Рассмотрены устройства контроля и защиты асинхронных электродвигателей и их недостатки. Предложено устройство контроля функционального состояния и защиты асинхронных электродвигателей от аварийных режимов работы.

В наше время для контроля и защиты асинхронных электродвигателей (АД) от аварийных режимов работы находят применение устройства, которые можно разделить на несколько видов: тепловые защитные устройства (тепловые реле, тепловые расцепители); токозависимые защитные устройства (плавкие предохранители, автоматические выключатели); термочувствительные защитные устройства (терморезисторы); устройства защиты от аварий в электрической сети (реле напряжения и контроля фаз, мониторы сети); устройства максимального токовой защиты, электронные токовые реле; комбинированные устройства защиты. Однако недостатки, которые свойственны указанным устройствам, ограничивают их применение.

На основании проведенного анализа можно сделать выводы об общих недостатках известных устройств контроля и защиты АД: неоправданная избирательность срабатывания; несогласованность времятоковой характеристики с перегрузочной кривой двигателя; отсутствие сигнала о начале перегрузки; неспособность точного определения критического тепла, накопленного двигателем и др.

К недостаткам большинства известных электронных устройств контроля и защиты АД можно отнести: низкую функциональность, необоснованность уставок срабатывания защиты, малое быстродействие, устаревшие схемотехнические решения и элементную базу и др.

На рис. 1 представлена схема предлагаемого устройства контроля функционального состояния и защиты АД от аварийных режимов работы.

Устройство состоит из микроконтроллера 10, первичного измерительного преобразователя 1 температуры обмотки статора, блока 5 контроля температуры обмотки статора, первичных измерительных преобразователей 2 тока, в качестве которых используются интегральные преобразователи тока, блока 7 контроля тока, блока 6 контроля напряжения, первичного измерительного преобразователя 3 температуры окружающей среды, блока 8 контроля температуры окружающей среды, первичного измерительного преобразователя 4 вибрации, в качестве которого используется пьезоэлектрический преобразователь вибрации, блока 9 контроля вибрации, блока 13 контроля расхода ресурса изоляции, часов 20 реального времени, блока 16 световой сигнализации, блока 17 зву-

ковой сигнализации, блока 18 цифровой индикации, блока 19 реле, блока 11 памяти, блока 12 ввода данных, коммуникационного порта 14 и блока 15 питания.

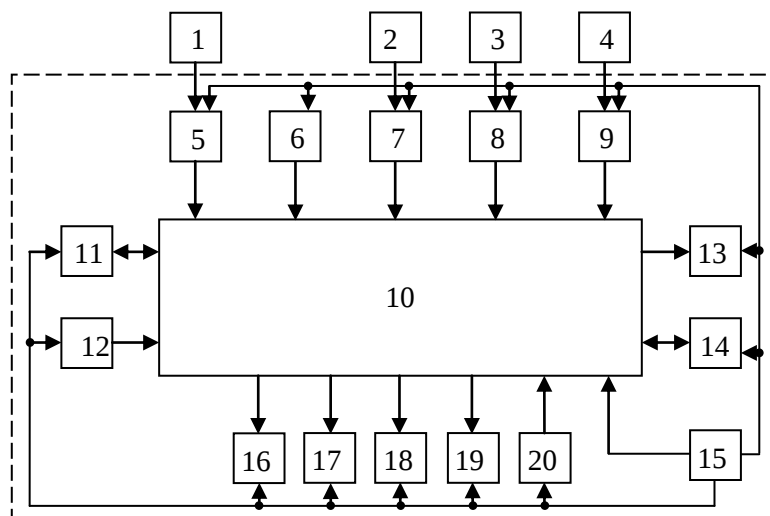


Рисунок 1 – Устройство контроля функционального состояния и защиты АД от аварийных режимов работы

Блок контроля расхода ресурса изоляции совместно с часами реального времени, микроконтроллером и блоком цифровой индикации позволяет осуществлять визуальный контроль остаточного значения ресурса изоляции обмотки статора АД с целью учета этого значения в дальнейшей эксплуатации электродвигателя.

Блок световой сигнализации отображает информацию об эксплуатационном режиме работы АД: нормальный, аномальный или аварийный, а блок звуковой сигнализации оповещает об отключении электродвигателя в случае аварийного режима работы. Для накопления и хранения информации о значении диагностических параметров АД в функции времени в устройстве предусмотрен блок памяти.

Для ввода данных о конструктивных, режимных и эксплуатационных параметрах электродвигателя и управления устройством в схеме предусмотрен блок ввода данных. Для обмена данными

между устройством и персональным компьютером предусмотрен коммуникационный порт.

Предложенное устройство контроля функционального состояния и защиты АД от аварийных режимов работы позволяет полностью использовать перегрузочную способность электродвигателя в пределах допустимых превышений температуры; контролировать температуру изоляции обмотки статора и температуру окружающей среды, уровень вибрации электродвигателя, напряжение сети, ток в обмотке статора, остаточный ресурс изоляции и, при опасных их значениях, автоматически отключать электродвигатель, что позволяет защитить его от основных аварийных режимов работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пристрій контролю функціонального стану та захисту групи асинхронних електродвигунів від аварійних режимів роботи / С.О. Квітка, О.Ю. Вовк, О.С. Квітка // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки. – Вип. 153. – Харків : ХНТУСГ, 2014. – С. 85-87.

Ковалев А.В.

Таврический государственный агротехнологический университет, г. Мелитополь, Украина

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ И ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ МОТОБЛОКА

Ключевые слова: электромоторблок, мощность, тяговый электродвигатель, ходовая система, эксплуатационные показатели.

Аннотация: Рассмотрены эксплуатационные показатели электромоторблока, оказывающие влияние на выбор тягового электродвигателя. С учетом предельной тяговой характеристики электромоторблока получены зависимости для определения суммарной силы тяги и номинальной мощности тягового электродвигателя моторблока.

Основными эксплуатационными показателями электромотоблока, оказывающими влияние на выбор тягового электродвигателя (ТЭД) являются его полная масса G , число ведущих колес m_k , номинальная сила тяги F_n и скорость номинального режима V_n , определяющие присоединенную мощность P_1 ТЭД, максимальные сила тяги F_{max} и скорость V_{max} . Указанные показатели устанавливаются на начальном этапе разработки электромотоблока по результатам анализа заданных технологических циклов работы и условий эксплуатации. На первоначальных этапах исследования был обоснован тип приводного двигателя мотоблока - двигатель постоянного тока последовательного возбуждения [1].

Показатель F_n предопределяет выбор номинальной мощности ТЭД и возможность его длительной работы по условиям нагрева, поэтому в качестве номинального для ТЭД рационально принимать длительный режим [1].

Требования к ТЭД формируются с учетом параметров предельной тяговой характеристики $F=f(V)$, представленной на рис. 1.

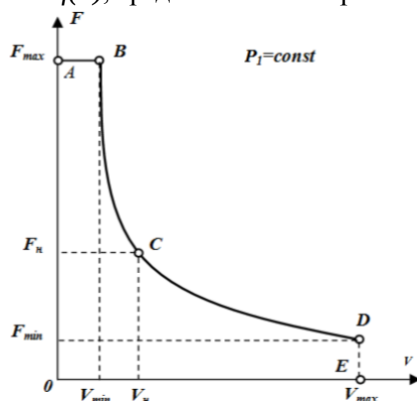


Рис. 1 – Предельная тяговая характеристика электромотоблока

Суммарную силу тяги F для установившейся скорости движения электромотоблока можно определить по соотношению [2]

$$F = G \lambda \varphi_c + \xi f, \quad (1)$$

где, G – эксплуатационный вес мотоблока, Н;
 λ – коэффициент нагрузки колес (для резиновых колес $\lambda = 1$);
 $\varphi_c = 0,5 \dots 0,7$ – коэффициент сцепления колес с почвой;
 ξ – коэффициент внутренних потерь в ходовой системе;
 $f = 0,1 \dots 0,12$ – коэффициент сопротивления качению колес.

Предельная зависимость $F=f(V)$ электромоторблока может быть построена по уравнению

$$F = P_{1n} \eta_{\Sigma} / V, \quad (2)$$

где P_{1n} – мощность, потребляемая из сети при номинальной нагрузке;

η_{Σ} – суммарный КПД привода;

При этом

$$\eta_{\Sigma} = \eta_{\text{вн}} \eta_{\text{эд}} \eta_p \eta_k, \quad (3)$$

где $\eta_{\text{вн}}$ – КПД вентильного преобразователя;

$\eta_{\text{эд}}$ – КПД тягового электродвигателя;

η_p – КПД редуктора;

η_k – КПД колес.

В предварительных расчетах значение КПД привода может приниматься $\eta_{\Sigma} = 0,7-0,72$. Для построения предельной тяговой характеристики необходимы данные о требуемой кратности максимальной скорости K_V и перегрузочной способности K_F . Коэффициент K_F , как правило, задается в пределах $K_F = 2,5 \dots 3,0$, а значение $K_V = K_n = n_{\text{max}} / n_n$ обеспечивается выбором ТЭД постоянного тока с соответствующей кратностью максимальной частоты вращения n_{max} / n_n , которая приводится в каталоге электрооборудования. При равенстве $K_{\omega} = K_V$ и $K_M = K_F$, передаточное число редуктора равно

$$i_p = R_k \omega_{\text{дmax}} / V_{\text{max}}. \quad (4)$$

Номинальная мощность ТЭД зависит от параметров F_n и V_n тяговой характеристики

$$P_n = F_n V_n / \eta_p \eta_k. \quad (5)$$

Таким образом, основные эксплуатационные показатели электромоторблока, а также тяговая $F=f(V)$ и механическая $M=f(\omega)$ характеристики ТЭД позволяют определить параметры регулирования K_{ω} , K_M , U_{max^*} , I_{max^*} , Φ_* , расчетную $P_{\text{расч}}$ и номинальную P_n мощности, которые оказывают влияние на энергетические и технико-экономические показатели, а также на выбор конструктивного

исполнения, номинальных данных и внутренних параметров тягового электродвигателя.

ЛИТЕРАТУРА

1 Ковальов, О.В. Методика розрахунку та вибору тягового електродвигуна в приводі мотоблока/ О.В. Ковальов// Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету – Вип. 2, Дніпропетровськ: ДДАУ, 2010. – С. 80-84.

2 Кусов, Т.Т. Создание энергетических средств с электромеханическим приводом/ Т.Т. Кусов// Тракторы и сельскохозяйственные машины, 1988, № 10. – С. 12-15.

**Ковалев В.А., к.т.н., доцент, Дворник Г.М., к.п.н., доцент,
Скочек И.И., ст. преподаватель, Шатохин И.Н.**

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

Кулаков А.Т., к.т.н., доцент

***УО «Белорусский национальный технический университет»
г. Минск, Республика Беларусь***

ОБОСНОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К ХАРАКТЕРИСТИКАМ ПСИХРОМЕТРИЧЕСКОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА

Ключевые слова. Относительная влажность, психрометрический измерительный преобразователь, класс точности термопреобразователя сопротивления, погрешность преобразования.

Аннотация. Report focuses on the characteristics of the control relative humidity at some sites agro-industrial complex with a high content of it. The most often used in capacitive sensors such conditions lose its efficiency. An alternative may be psychrometric sensors, the requirements for the characteristics of which are discussed.

Влажность воздуха является одним из важных параметров во многих технологических процессах агропромышленного комплекса, который необходимо контролировать и поддерживать на опре-

деленном уровне. За всю историю развития измерительной техники разработано большое количество методов измерения относительной влажности воздуха и средств измерений, базирующихся на них. В настоящее время приборостроительные предприятия во всем мире производят достаточно широкий спектр гигрометров. Однако для некоторых технологических процессов и объектов АПК, для которых нормальной является высокая влажность (теплицы, плодовоовощехранилища, грибные фермы и т.п.), использовать наиболее распространенные и относительно недорогие измерители относительной влажности воздуха с емкостными чувствительными элементами нельзя [1]. Специально разработанные для работы в таких условиях измерительные преобразователи относительной влажности (с так называемым «перегреваемым» емкостным чувствительным элементом), достаточно дороги, и более привлекательной по цене альтернативой могли бы служить измерители на основе психрометрического метода.

С целью проверки работоспособности психрометрического измерительного преобразователя относительной влажности воздуха, предназначенного для условий повышенной влажности, был разработан макетный образец и проведены его испытания. При его изготовлении был выполнен тщательный подбор чувствительных элементов «сухого» и «влажного» термометров сопротивления с идентичными статическими характеристиками, что позволило получить хорошую точность преобразования (относительная погрешность менее 1 %) [2]. Однако такой подбор чувствительных элементов термопреобразователей не просто обеспечить при серийном производстве. Поэтому актуальной является задача проверки возможности использования чувствительных элементов стандартных классов точности (допуска), без какого либо дополнительного отбора. В соответствии с ГОСТ 6651-2009 для термопреобразователей сопротивления установлены классы точности (допуска) АА, А, В и С. При этом предельно допустимые значения абсолютной погрешности преобразования по температуре следующие: для класса АА – $\Delta t = \pm(0,1 + 0,0017 | t |) ^\circ\text{C}$; для класса А – $\Delta t = \pm(0,15 + 0,002 | t |) ^\circ\text{C}$; для класса В – $\Delta t = \pm(0,3 + 0,005 | t |) ^\circ\text{C}$; для класса С – $\Delta t = \pm(0,6 + 0,001 | t |) ^\circ\text{C}$. Технологические требования к параметрам среды хранения боль-

шинства овощей и фруктов определяют предельно допустимое значение абсолютной погрешности при измерении относительной влажности воздуха $\Delta \varphi = \pm 2 \%$. Необходимо определить требования по классу точности к термопреобразователям сопротивления «сухого» и «влажного» термометров, обеспечивающих требуемую точность преобразования относительной влажности.

Возьмем одну из наиболее неблагоприятных с точки зрения контроля, но типичную при хранении овощей, ситуацию, когда требуемая относительная влажность воздуха составляет, скажем, 96 %, а требуемая температура хранения 4 °С. При таком значении влажности, психрометрическом коэффициенте $A = 3,93 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ и атмосферном давлении 1000 гПа, психрометрическая разность температур «сухого» и «влажного» термометров составит всего 0,3 °С. Это значит, что применять термопреобразователи классов А, В и С нельзя. Возможно использование без дополнительного подбора термопреобразователей класса точности АА, но погрешность преобразования будет находиться на пределе допустимого значения, а значит, с учетом других составляющих погрешности, вполне может его превысить. В такой ситуации более целесообразным выглядит подход, когда в устройстве обработки сигнала измерительной информации психрометрического датчика (в настоящее время это вероятнее всего будет интеллектуальное устройство, содержащее микроконтроллер) предусмотреть возможность введения поправки. Тогда вполне возможно использование без специального подбора термопреобразователей сопротивления классов А и В.

ЛИТЕРАТУРА

1. Особенности контроля относительной влажности воздуха и газовых смесей на объектах агропромышленного комплекса / Энергосбережение – важнейшее условие инновационного развития АПК: материалы международной научно-технической конференции, Минск, 24-25 ноября 2011 г. – Минск : БГАТУ, 2011. – С. 310-312.

2. Контроль параметров среды хранения плодоовощной продукции / Техническое и кадровое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве: материалы международной научно-практической конференции, Минск, 23-24 октября 2014 г. – Минск: БГАТУ, 2014. – С. 195-197.

Козловская В.Б., к.т.н., доцент, Калечиц В.Н.
магистр техн. наук
Белорусский национальный технический университет, Минск.

ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ НАРУЖНЫМ ОСВЕЩЕНИЕМ ПОСЕЛКОВ И СЕЛЬСКИХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

Ключевые слова: наружное освещение, осветительная линия, режимы работы, экономия электроэнергии.

Аннотация. Осветительные сети наружного освещения имеют характерные особенности. Режим работы осветительной линии зависит от схемы питания, используемых источников света, способа управления, возможности экономии электроэнергии. Переход на режим экономии электроэнергии может осуществляться различными способами.

Основная часть.

На сегодняшний день в наружном освещении преимущественно используются светильники с лампами типа ДНаТ, широкое применение светодиодных светильников, несмотря на наличие ряда преимуществ по сравнению с другими источниками света, затрудняется по причине их относительно высокой стоимости.

В наружном утилитарном освещении нет ограничений, связанных с цветовыми характеристиками источников света, поэтому, сравнивая лампы ДНаТ и ДРЛ, отдается предпочтение лампам ДНаТ в связи с тем, что они обладают большими световой отдачей, сроком службы.

Характерным примером в наружном освещении является линия с лампами типа ДНаТ, подключёнными через ЭмПРА с импульсным зажигающим устройством и компенсирующим конденсатором ($\cos\varphi_n = 0,86$) в светильнике типа ЖКУ. На основе такой линии произведена оценка режимов работы.

Зачастую для поселков, сельских населенных пунктов, а также для периферийных районов городов отсутствует возможность получения прямых телефонных пар и организации других каналов связи. Тогда управление наружным осуществляется в пределах одной

трансформаторной подстанции 10/0,4 кВ. В основном такое управление реализуется автоматически с применением электронных устройств, в которых заложена годовая программа включения и отключения в соответствии с графиком работы наружного освещения. Включение и отключение всех светильников такой линии происходит одновременно. Время включения и отключения наружного освещения зависит от дня года.

В виде исключения используют встраиваемые фотоэлектрические устройства для включения и отключения осветительной линии в зависимости от уровня освещенности. Фотодатчик устройства должен быть рассчитан на работу вне помещений, защищен от посторонней засветки и налипания снега на выходное отверстие фотоприемника [1].

Для наружного освещения могут быть предусмотрены вечерний и ночной режимы работы. Переход на ночной режим при снижении активности населения происходит с целью экономии электроэнергии.

Питание электрического освещения поселков и сельских населенных пунктов обычно реализуется при совместной подвеске на опорах линии электропередачи электрической сети общего назначения и электрической сети наружного освещения. В этом случае линия наружного освещения имеет собственный фазный проводник и общий нулевой проводник с линией, от которой получают питание другие потребители. Переход на ночной режим можно производить с помощью светильников, оснащенных двухступенчатыми ЭМПРА с возможностью понижения мощности. Такие ЭМПРА отличаются от обычных тем, что имеют две обмотки электромагнитного дросселя, переключатель мощности с настраиваемым таймером, что позволяют автоматически снижать мощность в заданные промежутки времени. Для светильников с ЭМПРА, которые понижают активную мощность на 40%, при переходе на режим экономии электроэнергии световой поток уменьшается на 50 %, что допустимо в соответствии с [2].

При необходимости освещения протяженных участков со значительным количеством светильников прокладываются отдельные трехфазные осветительные линии (независимо от сетей общего назначения), подключенные к пункту питания, расположенному на расстоянии до 200 м от трансформаторной подстанции 10/0,4 кВ или непосредственно в ней. В этом случае переход на ночной режим может быть произведен одним из следующих способов:

- отключение фазы;

- применение регуляторов напряжения;
- использование светильников с двухступенчатыми ЭмПРА.

Отключение фазы в пункте питания приводит к несимметричному режиму и появлению значительной неравномерности освещенности, но является относительно простым и эффективным способом экономии электроэнергии.

Другие способы экономии электроэнергии требуют установки дополнительного оборудования. Регуляторы напряжения в пункте питания позволяют поддерживать напряжения на необходимом уровне для обеспечения оптимальных режимов работы. Ночной режим реализуется путем ступенчатого снижения напряжения в пункте питания. При этом важным условием является то, что зажигание ламп ДНаТ необходимо производить при номинальном напряжении.

При регулируемом снижении напряжения происходит уменьшение светового потока источников света, неравномерность освещенности проявляется в меньшей степени, чем при отключении части светильников.

ЛИТЕРАТУРА

1. ТКП 45-4.04-287-2013 «Наружное освещение городов, поселков и сельских населенных пунктов. Правила проектирования». – Мн: Министерство архитектуры и строительства, 2013.– 19 с.
2. ТКП 45-2.04-153-2009 «Естественное и искусственное освещение. Строительные нормы проектирования». – Мн: Министерство архитектуры и строительства, 2010.– 100 с.

Коротинский В.А., к.т.н., доцент

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

ОСОБЕННОСТИ РЕЖИМОВ СУШКИ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ В КАМЕРНЫХ СУШИЛКАХ

Ключевые слова: камерные сушилки, конвективные сушилки, оптимальные режимные параметры, конструктивный расчет.

Аннотация. Камерные сушилки являются установками периодического действия, они малопроизводительны, но находят

широкое распространение из-за простоты конструкции, эксплуатации и более равномерного распределения влажного воздуха в объеме камеры, что эффективно сказывается при сушке пиломатериалов.

Характерной особенностью работы камерных сушильных установок является периодическая загрузка влажного и выгрузка высушенного материала, нагрев и охлаждение камеры, изменение параметров сушильного агента во времени.

Исследования, проведенные на камерной сушилке периодического действия, по определению оптимальных режимов сушки пиломатериалов позволили выявить основные особенности этого процесса:

- при высушивании пиломатериалов основная трудность заключается не в удалении влаги с поверхности, а в продвижении ее к поверхности по толщине материала. Это может быть достигнуто повышением коэффициента влагопроводности путем прогрева материала в среде с высоким влагосодержанием воздуха (при значительной температуре среды по мокрому термометру);

- древесина – материал термолабильный, поэтому необходимо ограничивать температуру нагрева, особенно во влажном состоянии древесины, для чего применяют нарастающие температуры по мере просыхания материала;

- ценную древесину с высокой начальной влажностью полезно подвергнуть предварительно атмосферной подсушке на открытом воздухе;

- чем тоньше материал, тем быстрее и безопасней он просыхает, поэтому для сушки тонких пиломатериалов, особенно из мягких древесных пород, можно применить более высокие температуры;

- для сушки толстых пиломатериалов необходимо тщательное наблюдение за процессом сушки и за постепенным изменением параметров среды;

- на протяжении всего процесса сушки в пределах каждого режима температура по мокрому термометру может поддерживаться на постоянном уровне;

- при сушке пиломатериалов, когда к ним предъявляется требование сохранения натурального цвета и не допускается выплав-

ление смолы и выпадение сучков, используется низкотемпературный режим сушки, при этом температура сушильного агента не должна превышать: на первой стадии 55°C и на второй 70°C.

Сушильная камера периодического действия, предназначенная для сушки древесины отечественных пород (сосна, ель, ольха и береза) при производстве товарных пиломатериалов (например, доска пола), представлена на рис.1, характеристики которой сведены в табл.1.

Таблица 1 Характеристики сушильной камеры

Наименование	Ед.изм.	Значение
Размеры сушильной камеры	м	3,0х3,0х7,0
Размеры пакета (штабеля) древесины	м	1,6х2,5х6,0
Доска обрезная сосновая, размером	мм	40х150х6000
Режимы сушки «мягкий» и «нормальный» при температуре до	°C	70
Начальная влажность пиломатериалов	%	60
Конечная влажность материала	%	6
Зазоры в ряду штабеля	м	0,015
Зазоры по высоте штабеля	м	0,022

Результаты расчета [1] оптимальных параметров пакета древесины, удаленной влаги, продолжительности сушки и эффективности сушильной камеры приведены в табл.2.

Таблица 2 Оптимальные параметры сушильной камеры

Наименование	Ед.изм.	Значение
Уточненные размеры пакета	м	1,635х2,52х6,0
Общий объем пакета	м ³	24,72
Чистый объем древесины в пакете	м ³	14,76
Коэффициент заполнения пакета		0,597
Плотность древесины до сушки,	кг/ м ³	724
Плотность древесины после сушки,	кг/ м ³	480
Масса пакета древесины до сушки	кг	10690
Масса пакета древесины после сушки	кг	7082
Продолжительность сушки	сут	4,2
Годовая производительность сушки	м ³	1140
Производительность вентилятора	м ³ /ч	21000
Мощность теплового оборудования	кВт	400

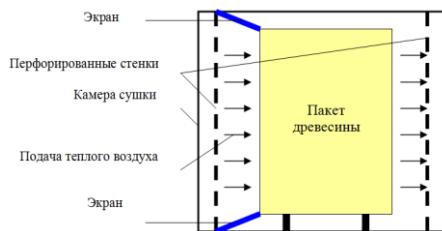


Рис.1 Схема экранирования пакета древесины

ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник по сушке древесины/ Под ред. Е.С. Богданова. – М.: «Лесная промышленность», 1990.
2. Catalogue 1999/2000 WILO: Heating pumps and Systems/ Air Conditioning – Mechanical Servies. – E.& O.E. WILO GmbH, 2000.

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

НЕТРАДИЦИОННЫЕ СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ И ПОДГОТОВКИ КОРМОВ К СКАРМЛИВАНИЮ

Ключевые слова: корма, проращивание зерна, гидропоника, оптимальные параметры, энергоемкость процесса.

Аннотация. Технологии производства зеленой массы кормов на гидропонных установках для полноценного кормления животных и предупреждения гиповитаминозов в зимних условиях чрезвычайно актуальна в мире, когда существует масса сложностей при кормопроизводстве и получении экологически чистой продукции.

Использование гидропонных зеленых кормов и повышение продуктивности животных при их применении отмечалось еще в 60-х годах прошлого столетия. Потом о них «успешно» забыли, вплоть до 2000 г., когда в России вновь стали акцентировать внимание на нетрадиционные способы получения кормов. В современных условиях главное преимущество получения гидропонного зеленого корма путем проращивания зерна заключается в возможности его производства в необходимых объемах в течение всего года, независимо от климатических условий.

Исследования, проведенные на опытной установке ОСП «Совхоз Минский» ОАО «Дорорс», по определению энергоемкости процесса проращивания зерна для получения зеленой массы для кормления животных позволили определить оптимальные энергетические характеристики этого процесса. Расчеты проведены для климатических зон всех областей Республики Беларусь [1] (для модульной установки со стандартным комплектом оборудования), данные приведены в табл. 1, 2.

Таблица 1 Удельные характеристики энергоемкости процесса проращивания зерна в условиях Республики Беларусь

Наименование показателей	Един. изм.	Область		
		1	2	3
Расход теплоты на 1 цикл отопительного периода (пшеница/рожь, ячмень)	МДж/кг	0,99	1,16	1,12
		0,66	0,77	0,75
Расход теплоты на среднегодовой цикл (пшеница/рожь, ячмень)	МДж/кг	0,50	0,65	0,60
		0,34	0,43	0,40
Расход электроэнергии на 1 цикл отопительного периода (пшеница/рожь, ячмень)	кВт·ч /кг	0,296	0,296	0,296
		0,197	0,197	0,197
Расход электроэнергии на среднегодовой цикл (пшеница/рожь, ячмень)	кВт·ч /кг	0,305	0,305	0,305
		0,203	0,203	0,203
Приведенный расход электроэнергии на отопительный период (пшеница/ рожь, ячмень)	кВт·ч /кг	0,571	0,618	0,607
		0,380	0,411	0,405
Приведенный среднегодовой расход электроэнергии (пшеница/ рожь, ячмень)	кВт·ч /кг	0,444	0,486	0,472
		0,297	0,322	0,314

Примечание: 1 – Брестская, 2 – Витебская, 3 – Гомельская области.

Таблица 2 Удельные характеристики энергоемкости процесса проращивания зерна в условиях Республики Беларусь

Наименование показателей	Един. изм.	Область		
		4	5	6
Расход теплоты на 1 цикл отопительного периода (пшеница/рожь, ячмень)	МДж/кг	1,05	1,11	1,12
		0,70	0,74	0,74
Расход теплоты на среднегодовой цикл (пшеница/рожь, ячмень)	МДж/кг	0,55	0,62	0,64
		0,37	0,41	0,43
Расход электроэнергии на 1 цикл отопительного периода (пшеница/рожь, ячмень)	кВт·ч /кг	0,296	0,296	0,296
		0,197	0,197	0,197
Расход электроэнергии на среднегодовой цикл (пшеница/рожь, ячмень)	кВт·ч /кг	0,305	0,305	0,305
		0,203	0,203	0,203
Приведенный расход электроэнергии на отопительный период (пшеница/ рожь, ячмень)	кВт·ч /кг	0,588	0,604	0,606
		0,391	0,403	0,404
Приведенный среднегодовой расход электроэнергии (пшеница/ рожь, ячмень)	кВт·ч /кг	0,458	0,477	0,478
		0,306	0,317	0,319

Примечание: 4 – Гродненская, 5 – Минская, 6 – Могилевская области.

Установка представляет собой два ряда стеллажей (многоярусное исполнение), на которых располагаются сменные поддоны (300х900х50) и специальные отверстия для слива избытка воды. Все поддоны могут одновременно перемещаться по вертикали при помощи привода. Кроме того, в состав установки входят светильники с люминесцентными энергосберегающими лампами Т5 в герметическом исполнении, устройство полива, емкость поливочной воды и устройство замачивания зерна. Все оборудование расположено в двух отделениях помещения. Для поддержания температуры 18°C в зимний период времени работает центральная система отопления, в переходной период – подключаются тепличные облучатели ОТ-400И (от 2 до 6 шт.) с лампами ДРЛФ-400. Для освещения в помещениях используются светильники с люминесцентными лампами и лампами накаливания. Максимальная масса проращиваемого зерна: пшеница – 14 кг, рожь (ячмень) – 21 кг. Максимальное количество зеленой массы корма, получаемой за один цикл проращивания: пшеница – 896 кг, рожь (ячмень) – 1344 кг. Один цикл длится 6 суток; в году 61 цикл.

Проведенный анализ показывает, что для эффективного ведения животноводства необходимо практическое освоение принципиально новых технологических систем производства биологически полноценных и экологически безопасных кормов. При этом, наиболее приемлемой и доступной является технология производства кормов и кормление животных круглый год с использованием гидропонных зеленых кормов, что позволит без чрезмерных финансовых и капитальных затрат решить основные проблемы животноводства.

ЛИТЕРАТУРА

1. СНБ 2.04.02-2000 Строительная климатология. – Минск: Министерство архитектуры и строительства РБ, 2001.
2. Гидропонные установки и системы промгидропоники: [сайт] [2017]. URL: <http://www.agrocontech.ru/ru> (дата обращения: 20.07.2017).

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

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА КОАГУЛЯЦИИ БЕЛКОВ ИЗ МОЛОЧНОЙ СЫВОРОТКИ

Ключевые слова: Молочная сыворотка, сывороточные белки, переработка, коагуляция, технологическая схема.

Аннотация. В статье показана значимость молочной сыворотки, как источника высокоценного белка, предложен энергоэффективный способ и технологическая схема электрокоагуляции белков.

Молочная сыворотка является продуктом переработки молока на сыр, творог, казеин. В сыворотку переходят практически все соли и микроэлементы молока, водорастворимые витамины, белки. Содержание составных частей молока и биологические свойства сыворотки позволяют отнести ее к ценному промышленному сырью, которое можно переработать в различные пищевые и кормовые средства [1].

Одним из наиболее ценных компонентов сыворотки являются сывороточные белки, содержащие в своем составе больше незаменимых аминокислот, чем казеин, являются полноценными белками, которые используются организмом для структурного обмена, в основном для синтеза белков печени, образования гемоглобина и плазмы крови. При этом значительная часть сыворотки скармливается животным или сбрасывается в водоемы, нанося значительный вред окружающей среде [2]. Помимо экономического ущерба от потери ценного молочного сырья, это приводит к серьезной экологической проблеме.

Известные способы коагуляции не позволяют эффективно извлекать белок. Предлагаемый электрохимический способ коагуляции позволяет повысить эффективность выделения белка до 90% и снизить энергоемкость путем непосредственного воздействия электрического тока на коллоидную среду.

Технологический процесс электрокоагуляции показан на рисунке 1.

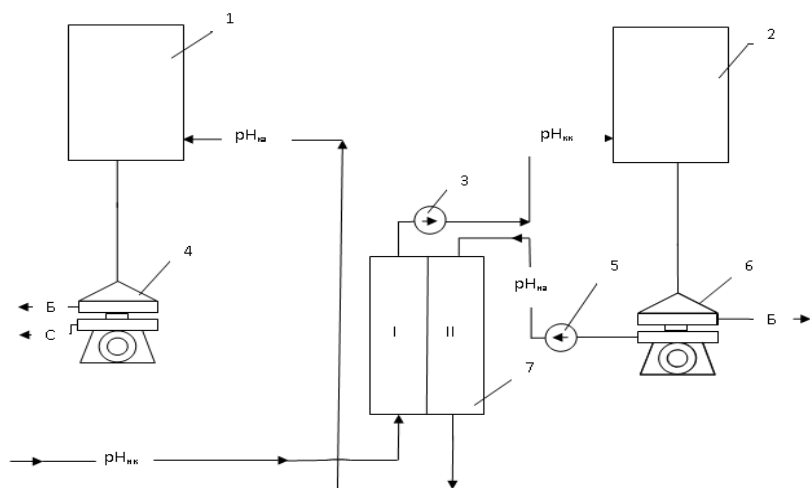


Рисунок 1 – Принципиальная технологическая схема электрокоагуляции: 1,2 - успокоительные емкости; 3,5 - вакуум - насос; 4,6 - саморазгружающиеся фильтрующие центрифуги; 7 -электрокоагулятор (I,II – катодная, анодная зоны; $pH_{нк}$, $pH_{нк}$ – начальное и конечное значение pH в катодной зоне; $pH_{на}$, $pH_{ка}$ – начальное и конечное значение pH в анодной зоне), Б - белок, С - молочная сыворотка после электрообработки.

Сыворотка поступает в диафрагменный электрокоагулятор 7, электроды которого подключены к источнику постоянного тока. В результате изменения физико-химических свойств раствора происходит коагуляция белков. Обработанный продукт из катодной камеры I поступает в успокоительную емкость 2 затем в центрифугу 6 для выделения коагулята. После центрифугирования и отделения белков сыворотка поступает в анодную зону II для повторной обработки и более полного выделения белков.

Данная технология позволяет выделить 80...90 % белков молочной сыворотки, получить ценную кормовую добавку для животных, снизить негативное воздействие молокоперерабатывающих предприятий на окружающую среду.

ЛИТЕРАТУРА

1. Храмцов А.Г., Нестеренко П.Г. Технология продуктов из молочной сыворотки: Учебное пособие. – М.: ДеЛи принт, 2004. – 587 с.

2. Синкевич Т., Ридель К.П. Молочная сыворотка: переработка и использование в агропромышленном комплексе. – М.: «Агропромиздат», 1989.
3. Заяц Я.М., Юшанка І.Б. Да пытання электракаагуляцыі бялкоу бульбянога соку. – Мн.: Весці акадэміі аграрных навук Беларусі, 1994, №3.

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

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ФАКТОРОВ ВЛИЯНИЯ НА КОАГУЛЯЦИЮ БЕЛКОВ МОЛОЧНОЙ СЫВОРОТКИ

Ключевые слова: Переработка, коагуляция белков, коллоидная система, энергия взаимодействия, концентрация ионов.

Аннотация. В работе показаны силы, действующие на коллоидную систему, значимость их влияния на энергию взаимодействия белковых молекул.

По данным Международного молочного фонда, в настоящее время, до 50% молочной сыворотки сливают в канализацию, тем самым создавая проблему защиты окружающей среды [1]. Использование белка молочной сыворотки позволило бы увеличить эффективность переработки молока, снизить отрицательное воздействие сточных вод молочных предприятий на окружающую среду. Все это доказывает необходимость и целесообразность организации полного сбора и переработки молочной сыворотки, как с экономической, так и с экологической точек зрения.

В настоящее время разработаны или разрабатываются различные способы выделения белков из сыворотки: тепловые, химические, механические, электрические, и их сочетания. Основным недостатком известных способов является неполное выделение белков и высокая энергоемкость.

Устранить или снизить отмеченный недостаток можно электрохимическим способом коагуляции белков, суть которого состоит в следующем.

Согласно теории Дерягина-Ландау-Фервея-Овербека [2] устойчивость коллоидной системы зависит от соотношения энергий межмолекулярного притяжения W_m , электростатического отталкивания W_z , диполь-дипольного взаимодействия частиц W_d . Коагуляция наступает тогда, когда суммарная энергия межмолекулярного и диполь-дипольного притяжения ($W_m + W_d$) превысит энергию электростатического отталкивания или же общая энергия системы (W) станет меньше или равна нулю.

Суммарная энергия взаимодействия белковых молекул зависит от ряда факторов. Наиболее действенными являются – температура коллоидной среды, напряженность электрического поля, потенциал диффузионной части двойного слоя белковых молекул. Путем моделирования на ЭВМ установлена значимость этих факторов. Наибольший интерес представляет влияние потенциала диффузной части двойного слоя ϕ_0 на границе раздела поверхность белковой молекулы – коллоидная среда на суммарную энергию W . Коагуляция начинается при $\phi_0 = 25 \dots 30 \text{ мВ}$.

Известно, что величина потенциала ϕ_0 зависит от концентрации анионов и катионов. Эту концентрацию можно регулировать пропуская определенное количества электричества через белоксодержащую среду, расположенную между токопроводящими электродами, разделенными между собой токопроводящей мембраной.

Концентрация ионов в жидкой фазе (1) и на поверхности мембраны белковой клетки (2).

$$C^0 = C^{\text{нач}} + \frac{q}{F}(\eta_a - \eta_k) \quad (1)$$

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

где $C^{\text{нач}}$ – начальная концентрация активных ионов в жидкой фазе; η_a, η_k – выход по току анионов и катионов соответственно; q – удельное количество электричества, протекающего через среду; δ – толщина диффузного слоя; z – заряд ионов; F – число Фарадея; D – коэффициент диффузии ионов в растворе; τ – время обработки; Δn – разность чисел переноса ионов в мембране белковой клетки и растворе.

Принимая, что основными активными ионами является H^+ и OH^- , которые создают на поверхности белковой клетки группы кислотных и

основных зарядов, суммарная плотность поверхностного заряда белковой клетки [3].

$$\rho_n = \frac{\rho_b C_n^2 + K_a (\rho_b - \rho_a) C_n - \frac{K_w K_a}{K_b} \rho_a}{C_n^2 + \left(\frac{K_w}{K_b} + K_a \right) C_n + \frac{K_w K_a}{K_b}}, \quad (3)$$

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

Потенциал на поверхности частицы

$$\varphi_n = \frac{\rho_n R_{ц}}{2 \varepsilon_c} \ln \left(\frac{h + \sqrt{R_{ц}^2 + h^2}}{R_{ц}} \right), \quad (4)$$

где $R_{ц}$ – радиус белковой частицы; ε_c – относительная диэлектрическая проницаемость белоксодержащей среды; h – расстояние между частицами.

Допуская, что потенциал диффузионной части двойного слоя вокруг белковой клетки примерно равен потенциалу на поверхности белковой клетки из уравнения (1)...(4) находят необходимое значение концентрации ионов и количества электричества при котором коагуляция белков максимальна.

Нашими исследованиями установлено, что изменение концентрации ионов в молочной сыворотке, расположенной в анодной и катодной зонах электродной системы, позволяет коагулировать до 90% белков при температуре не выше 30°C.

ЛИТЕРАТУРА

1. Храмцов А.Г., Нестеренко П.Г. Технология продуктов из молочной сыворотки: Учебное пособие. – М.: ДеЛиПринт, 2004. – 587 с.
2. Дерягин Б.В. Теория гетерокоагуляции, взаимодействие и влияние разнородных частиц в растворах электролитов // Коллоидный журнал – 1954, вып.16 т.6.
3. Эстрелла-Льонис В.Р., Духин С.С. Поляризационные взаимодействия и электрокоагуляция // Коллоидный журнал – 1981, вып.5 т.43.

Крутов А.В., к.т.н., доцент, Бойко М.А.
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь

ВОЗДЕЙСТВИЕ НЕОДНОРОДНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ЗАРЯЖЕННЫЕ ЧАСТИЦЫ ПРИ ОЧИСТКЕ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ СТОЧНЫХ ВОД

Ключевые слова: стоки, неоднородное магнитное поле, нефтепродукты, загрязнения

Аннотация. The paper considers the influence of the inhomogeneous magnetic field on the effectiveness of wastewater containing oil.

Очистка нефтесодержащих стоков в замкнутых системах является одним из путей сбережения водных ресурсов, а также снижения вредного воздействия загрязняющих веществ на окружающую среду. Однако любая очистка должна быть эффективной. Повысить качество очистки можно наложением неоднородного магнитного поля на поток очищаемой жидкости.

Известно, что в магнитном поле на движущуюся частицу массой m и зарядом Q , действует сила Лоренца $\vec{F}_л$. Уравнение ее движения имеет вид:

$$\vec{F}_л = m \frac{d\vec{v}}{dt} = Q\vec{v}\vec{B},$$

где $\vec{v}$ – вектор скорости движения частицы, м/с;

$\vec{B}$ – вектор магнитной индукции, Тл;

Q – заряд частицы в магнитном поле, Кл.

В неоднородном магнитном поле при движении заряженной частицы в направлении возрастания поля силовые линии будут сходящимися, и движение происходит по винтовой линии с уменьшением радиуса (рис.1).

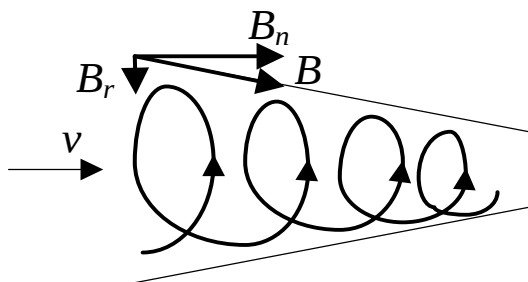


Рисунок 1 - Траектория движения заряженных частиц в неоднородном магнитном поле.

Значение силы Лоренца, зависит от величины и направления вектора магнитной индукции. Для определения напряженности магнитного поля, создаваемого по оси конической однослойной катушки, выберем направление тока в витках катушки как показано на рис. 2. При выбранном направлении намотки и тока в обмотке скорость движения воды и направление воздействия силы Лоренца совпадают.

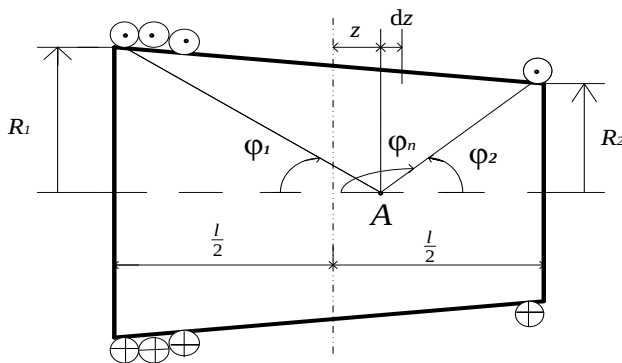


Рисунок 2 - Коническая однослойная катушка

Искомую напряженность магнитного поля H в точке A , вызванного током в обмотке катушки, определим интегрированием вдоль всей катушки:

$$H = \int_{-l/2}^{l/2} \frac{iN}{2l_1} \sin^3 \varphi \frac{dz}{R}.$$

Так как $\frac{l-z}{R} = \operatorname{ctg} \varphi$, то $\frac{dz}{R} = \frac{d\varphi}{\sin^2 \varphi}$, следовательно, для

конической катушки напряженность магнитного поля в любой точке вдоль оси будет:

$$H = \frac{i N}{2 l_1} \int_{\varphi_1}^{\varphi_n} \sin \varphi d\varphi = \frac{i N}{2 l_1} (\cos \varphi_1 - \cos \varphi_n), \quad (1)$$

где $l_1 = \sqrt{(R_1 - R_2)^2 + l^2}$ - длина образующей линии конуса (на рисунке не показана);

R_1, R_2 - радиусы основания и вершины конуса.

Если в выражение (1) вместо угла φ_n подставить угол $\varphi_2 = 180^\circ - \varphi_n$, то получим

$$H = \frac{i N}{2 l_1} \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \sin \varphi d\varphi = \frac{i N}{2 l_1} (\cos \varphi_1 + \cos \varphi_2).$$

Полученная зависимость позволяет определить напряженность магнитного поля H в различных точках осевой линии катушки при отсутствии стального сердечника. Магнитная индукция при этом будет равна $B = \mu_0 H$. Очевидно, что напряженность магнитного поля будет увеличиваться к вершине конуса, а само поле является неоднородным.

Интенсифицировать процесс отделения движущихся в потоке заряженных частиц нефтепродуктов и моющих поверхностно-активных веществ, содержащихся в очищаемых стоках, можно электромагнитным воздействием на данные загрязнения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Повх, И.Л. Техническая гидромеханика. 2-е изд., доп. Л., «Машиностроение» (Ленингр. отд-ние), 1976. – 504 с.
2. Разин, В.М. Математическая модель процесса движения заряженной частицы в веществе при наличии магнитного поля // Известия ТПУ. 2003. №7. С.44-47

**Крутов А.В., к.т.н., доцент; Бойко М.А., ст. преподаватель
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь**

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОФЛОТООКАГУЛЯЦИОННОЙ ОЧИСТКИ ПОСТА МОЙКИ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ

Ключевые слова. Электролиз, электрокоагуляция, электрофлотация, электромагнитная обработка, идентификация, автоматизация.

Аннотация. Изложены результаты выполненных авторами исследований по очистке стоков постов мойки и даны практические предложения по автоматизации, сделанные по их результатам. Приведены информационная и функциональные схемы управления процессом очистки.

Стоки постов мойки автотракторной техники и сельскохозяйственных машин, содержащие нефтепродукты, поверхностно-активные вещества и другие загрязнители относятся к числу наиболее опасных для окружающей среды. Исследованиями, проведенными на кафедре электротехники ранее, а также по другим источникам установлено, что на очистку сточных вод от нефтепродуктов и ПАВ электрохимическим воздействием влияет ряд факторов: физико-химических, электрических и гидродинамических. При автоматизации процессов очистки сточных в качестве основного выбран принцип управления по отклонению. С помощью кондуктометрического датчика измеряется текущее значения концентрации загрязнений на входе и выходе установки.

Принцип действия установки основан на электролизе с применением растворимых электродов. В результате электролиза происходит процесс восстановления и окисления компонентов, содержащихся в очищаемых стоках. В воду переходят ионы двухвалентного железа, которые, соединяясь с гидроксильными группами, являются хорошим коагулянт, сорбирующим вредные примеси с образованием хлопьев [1, 2]. Одновременно с электрокоагуляцией в установке имеет место и процесс электрофлотации. Выделяющиеся на электродах пузырьки кислорода и водорода

уносят образовавшиеся хлопья на поверхность, где они под воздействием неоднородного электромагнитного поля концентрируются и отводятся в виде пены на утилизацию.

Для математической модели процесса использованы результаты экспериментальных исследований. По ним определена информационная схема объекта управления, приведенная на рис 1.

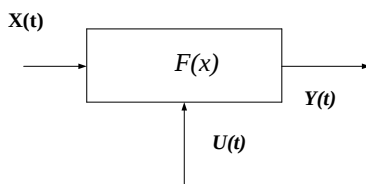


Рисунок 1 – Информационная схема управления
 $X(t)$ – входные параметры ; $U(t)$ – параметры управления; $Y(t)$ – выходные параметры

При разработке схемы автоматизации процесса очистки položены следующие требования к системе управления:

1. Обеспечение надежности и адекватности работы очистного оборудования в соответствии с технологическим процессом.

2. Исклучение одновременного автоматического и ручного управления. Перевод с ручного на автоматическое управление и наоборот, не должен влиять на работу устройства очистки, приводить к его остановке.

3. Отключение оборудования при нарушении технологического процесса очистки и включение при этом аварийной сигнализации. Блокировка автоматического или дистанционного пуска технологического процесса после аварийного отключения до снятия запрета.

4. После завершения технологического процесса очистки или его приостановки система управления должна быть готова к последующему пуску.

Функциональная схема автоматизированной системы (рис.2) дает возможность полного контроля основных параметров процесса очистки. Для этого оператор вводит в компьютер данные об исходной загрязненности нефтепродуктами отстоявшихся стоков и дает команду на начало очистки. На основании введенных сведений о степени загрязнения стоков, программный модуль выбирает

из базы данных соответствующие параметры напряженности электрического поля в электрофлотокоагуляторе, напряженности магнитного поля в гидроциклоне и передает эти значения на блок управления.

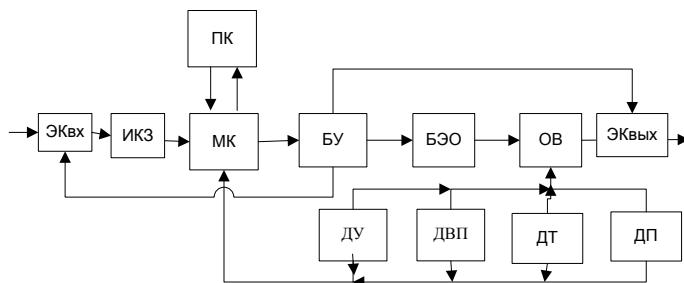


Рисунок 2. Функциональная схема автоматизированной системы электромагнитной обработки стоков автомоек:

ИКЗ – исходная концентрация загрязнений, МК - устройство управления (программируемый контроллер), ПК – программное обеспечение компьютера; БУ – блок управления; БЭО – блок электромагнитной обработки; ОВ – обработанная вода; ДП – датчик проводимости обработанной воды; ДУ – датчик уровня; ДТ – датчик температуры; ДВП – датчик определения водородного показателя; ЭКвх, ЭКвых – электромагнитные клапаны входа и выхода.

Серверная часть автоматизированной системы представлена базой данных, хранящей оптимальные значения параметров электрообработки в электрофлотокоагуляторе и в секции отделения скоагулировавшихся загрязнений в электромагнитном гидроциклоне.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кафаров, В.В. Математическое моделирование основных процессов химических производств. / В.В. Кафаров, М.Б. Глебов. – М.: Высшая школа, -1991. – 400с.
2. Ткачев, Р.Ю. Структурно-параметрическая идентификация объектом с рециклом на основе дискретной последовательности выходной координаты/ Р.Ю.Ткачев, О.В. Глушко // Збірник наукових праць ДонДТУ, Алчевськ: ДонДТУ, –2012. –№36. – С. 415-425.

Крутов А.В., к.т.н., доцент; Мацкело В.В., магистр техн. наук
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь

ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ ЖИДКИХ СРЕД В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ ИСКРОВОГО РАЗРЯДА

Ключевые слова: Обеззараживание, электрический разряд, электроимпульсная технология, электролиз, перекись водорода.

Аннотация. В работе приведен краткий анализ традиционных методов обеззараживания жидких сред. Рассмотрен электрический разряд между поверхностью жидкости и электродом, расположенным над ней. Дано описание лабораторной установки.

Известны разнообразные методы обеззараживания жидких сред, сточных вод, питьевой воды. В их числе ультрафиолетовое обеззараживание, озонирование, хлорирование и другие. Однако эти способы оказываются малоэффективными при обеззараживании спорообразующих микроорганизмов, а также вирусов [1]. В тоже время, наиболее применяемое хлорирование обладает высокой токсичностью, а хлорсодержащие вещества являются канцерогенами и способны вызывать мутацию. Надежность УФ обеззараживание зависит от мутности и прозрачности обрабатываемой жидкой среды. Отсутствует оперативный контроль эффективности обеззараживания. После этого метода возможно вторичное осеменение микроорганизмами обработанной среды, так как он не обладает так называемым эффектом последствия.

Перспективным является обеззараживание жидких сред электрофизическим методом, в основе которого лежит электрический разряд. В канале электрического разряда возникают эффекты кавитации, образуется ультрафиолетовое излучение, озон, перекись водорода, которые обладают дезинфицирующими свойствами, деактивируют микробы, бактерии, вирусы. Кроме того в обрабатываемую жидкость в процессе разряда проникают ионы металла с поверхности электродов. Имеет место комплексное воздействие на микроорганизмы различных компонентов обеззараживания. Происходит процесс глубокого окисления микрофлоры об-

рабатываемой среды. Электрогидравлический разряд является мощным источником ультразвука, который также вызывает интенсивную гибель микроорганизмов. Аналогичное действие на микроорганизмы оказывают ультрафиолетовое и рентгеновское излучение плазмы канала разряда. Исследованиями ряда ученых установлено, что после электрогидравлической обработки жидкая среда приобретает наведенную бактерицидность, не снижающуюся с течением времени до нескольких месяцев.

Однако практическая реализация электроимпульсной технологии с разрядом в жидкости затруднена необходимостью усиления стенок рабочей камеры электрического разряда, так как возможны ее разрушения. Электрический разряд в воде – это фактически взрыв в несжимаемой жидкости. Известен ряд исследований, направленный на интенсификацию химических процессов в жидкости с использованием тлеющего, искрового и коронного электрических разрядов. Нами проведены пилотные исследования по получению перекиси водорода – одного из эффективных дезинфицирующих средств – в электрическом поле искрового разряда.

Схема лабораторной установки представлена на рисунке. Электрический разряд зажигался между анодом и электролитом. Расстояние от анода до поверхности жидкости составляло в разных экспериментах от 5 до 15 мм. На анод подавалось постоянное напряжение до 8-10 кВ. Разряд возникал при подаче на анод импульса напряжения, превышающего напряжение пробоя воздушного промежутка. При этом в самой жидкости наводится электрическое поле. Для поддержания требуемой величины тока разряда в цепь анода включается балластное сопротивление. Ток разряда изменялся в пределах 100 - 500 мА. Основными продуктами реакций в слабом солевом растворе, каким, например, является дренаж поливочной воды тепличных комбинатов, были водород, кислород и перекись водорода. Известно, что выход перекиси водорода возможен, если раствор в процессе обработки остается нейтральным или кислым (в щелочной среде перекись водорода не образуется). Для этого анодная и катодная ячейки были разделены полупроницаемой перегородкой (мембраной), чтобы не допустить смешивания продуктов химических реакций на катоде и аноде. В процессе электролиза в анодной ячейке образуется кислая или нейтральная среда (анолит), а в катодной – щелочная (католит). Перекись водо-

рода обнаруживалась титрованием перманганатом калия. Пока в растворе есть перекись водорода, KMnO_4 обесцвечивается. Когда вся перекись израсходуется на окисление перманганата, вода начинает розоветь.

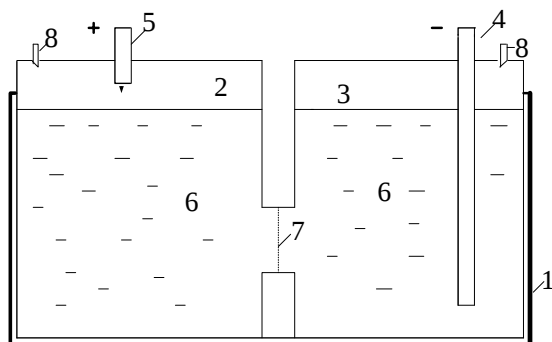


Рисунок – Эскиз ячейки для электролиза в электрическом поле искрового разряда
 1 – корпус рабочей камеры; 2 – анодная ячейка; 3 – катодная ячейка, 4 – катод,
 5 – анод с острием для разряда; 6 – электролит; 7 – полупроницаемая перегородка;
 8 – вентиляционные продушины.

В настоящее время электропотребление на обработку жидкости разрядом составляет $0,3 \text{ кВтч/м}^3$ [2]. Такие расходы электроэнергии позволяют отнести рассмотренный способ обеззараживания к альтернативным другим и конкурентным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Обеззараживание питьевой воды: Метод. реком. / Н.Е. Журавлевич. – Минск: БГМУ, 2016, – 35 с. [Электронный ресурс] – 2016 – Режим доступа: [http:// www.obez_vod.pdf](http://www.obez_vod.pdf). Дата доступа: 12.10.2017
2. Обеззараживание воды диафрагменным электрическим разрядом. / С.В. Какауров, А.С. Юдин, И.Ф. Суворов, г. Чита [Электронный ресурс] – 2006 – Режим доступа: [http:// www.lib.tru.ru](http://www.lib.tru.ru). Дата доступа: 12.10.2017

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИИ СТАТОРНОЙ ОБМОТКИ НА ПАРАМЕТРЫ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Ключевые слова: асинхронный электродвигатель, обмотка статора.

Аннотация. В работе проведено сравнение основных видов статорных обмоток асинхронного электродвигателя и определен вариант, при котором электродвигатель имеет наиболее энергоэффективные параметры.

The main types of stator windings of an asynchronous electric motor are compared and an option is chosen in which the electric motor has the most energy-efficient parameters.

На предприятиях агропромышленного комплекса Республики Беларусь наибольшее распространение получили трехфазные асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором. Данный класс электродвигателей по сравнению с остальными обладает низкой стоимостью, относительно простым и быстрым производством, легко поддается ремонту, а также имеет надежную конструкцию.

Эффективность асинхронных электродвигателей зависит от различных факторов: качество подшипников, качество материала (чистота меди); качество выполнения самих обмоток; качество сборки магнитопровода; качество монтажа на рабочее место и подключения к рабочему механизму; а также от типа статорной обмотки, которая используется в том или ином двигателе.

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.

Одним из способов снижения расхода проводникового материала является рациональный подбор типа обмотки статора асинхронного электродвигателя. Наиболее распространенными статорными

обмотками являются однослойная концентрическая, двухслойная концентрическая и совмещенная концентрическая обмотка.

Основной недостаток однослойная концентрическая обмотки – это повышенный расход проводникового материала и сложность укорочения шага, поэтому в промышленности обмотки такого вида выпускаются редко и зачастую только при перемотке.

Двухслойная концентрическая обмотка представлена на рисунке 1. Основные преимущества данного типа обмоток – это возможность укорочения шага и снижение расхода обмоточного провода за счет уменьшения длины лобовой части секций.

Совмещенная концентрическая обмотка представлена на рисунке 2. Представляет собой частично однослойную и частично двухслойную обмотку. Данный тип обмотки имеет следующие преимущества по сравнению с предыдущими – это наименьший расход обмоточного провода и пониженное содержание высших гармоник в магнитном поле асинхронного электродвигателя.

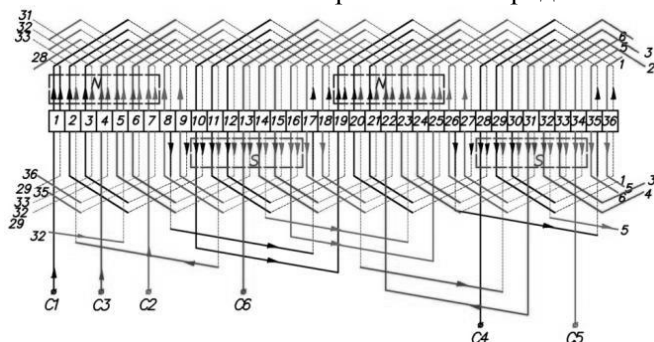


Рисунок 1. Двухслойная концентрическая обмотка.

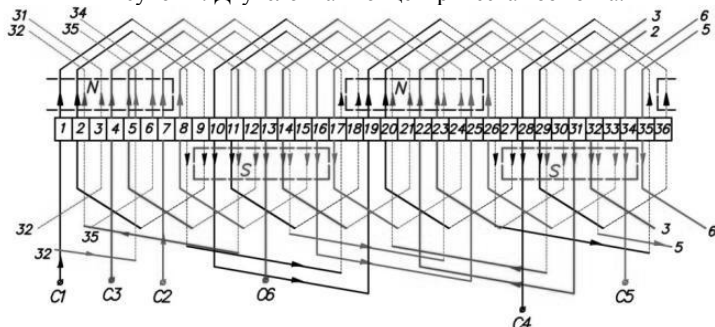


Рисунок 2. Совмещенная концентрическая обмотка.

Асинхронные электродвигатели с рассмотренными выше размещенными обмотками являются более эффективными за счет снижения расхода обмоточного провода, уменьшения потерь электроэнергии и снижения стоимости.

ЛИТЕРАТУРА

1. 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.

**Мансуров А.А., ст. преподаватель, Рахимова К.К., преподаватель,
Поёнова Л.О., преподаватель, Холмирзаев Н.С., к.т.н., доц.,
«Каршинский государственный университет»,
г. Карши, Узбекистан**

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ВАРИАНТОВ ХРАНИЛИЩ ДЛЯ ЖАРКОГО КЛИМАТА УЗБЕКИСТАНА

Ключевые слова: сельскохозяйственная продукция, подземное хранилище, аккумуляция.

Аннотация: В работе рассматривается подземное хранилище для длительного хранения сельскохозяйственной продукции.

В настоящее время энергосбережение и рационального использования энергетических ресурсов в сельском хозяйстве является актуальной проблемой для многих предприятий отрасли. Высокая энергоемкость сельскохозяйственной продукции, ограниченность энергетических ресурсов и высокая стоимость энергии на сегодняшний день являются основными энергетическими показателями сельскохозяйственного производства.

Перед человечеством всегда стояло вопрос хранения выращиваемой ими сельскохозяйственную продукцию до следующего урожая. Для длительного хранения сельскохозяйственной продукции в хранилищах обычного типа необходимо поддержания определенного температурно-влажностного режима. С разработкой теории охлаждения и кондиционирование воздуха, с изобретением холодильных установок появилась

возможность решить этот вопрос. Но применения этого способа хранения требует больших затрат и это отражается на стоимости храняемого с/х продукта, то есть продукт становится дороже. Что и поставит задачу разрабатывать оптимальных вариантов хранилищ.

Исследования по разработке оптимальных вариантов хранилищ для сухого жаркого климата Узбекистана направлен на разрешения следующих задач:

1. Изучение климатических условий Узбекистана в период хранения овощей, фруктов, ягод и корнеплодов (октябрь-май).

2. На основании изученного материала произвести анализ технологических требований хранения и дают пояснение предлагаемому варианту хранилища.

3. Разрабатывают теоретические предпосылки расчета нестационарного теплообмена в хранилище.

4. Провести экспериментальные исследования теплообмена либо в модели предлагаемого варианта хранилища, либо в натурном объекте и результаты эксперимента сопоставит теоретическими предпосылками.

5. Показать технико-экономической эффективности предлагаемого варианта в сопоставление действующими хранилищами.

6. Показать сравнительного преимущество предлагаемого варианта хранилища от предыдущих в простоте конструкции и эксплуатации.

В данной работе предлагается вариант подземного хранилища, относящиеся к так называемым «безмашинным холодильникам», т.е. отсутствует холодильная установка. Охлаждения хранилища производится за счет аккумулированного холода зимой. Аккумулятором служит грунт обхватывающий хранилище со всех сторон.

Идея использования теплоаккумулирующих свойств грунта для изменения температуры приточного наружного воздуха впервые была рассмотрена О.Хетцелем и конструктором Е.Г.Ло [1,2]. Однако расчетных зависимостей для определения степени изменения температуры приточного воздуха ими не было предложено.

Наиболее важный вклад в решение задач, характеризующих изменение параметров воздуха при движении в подземных вентиляционных каналах, был сделан Е.В.Стефановым [3].

Аккумуляция холода в грунтовом массиве осуществляется двумя способами:

1. Аккумуляция холода сквозным проветриванием хранилища (“пассивный” метод аккумуляции);
2. Аккумуляция холода с применением грунтовых теплообменников (“активный” метод аккумуляции).

Эти две методы аккумуляции холода можно произвести в отдельности или одновременно одним или двумя центробежными вентиляторами.

Практическая реализация этих методов заключается в том, что аккумуляция холода грунтовым массивом осуществляется за счет вынужденного перемещения холодного воздуха через помещения (сквозное проветривания) или по каналам расположенным либо в самом сооружении, либо вне сооружения (грунтовые теплообменники).

Использование каналов (труб) для аккумуляции холода обладает тем преимуществом, что запасы холода можно активно использовать в теплые периоды года для обеспечения требуемых метеорологических параметров воздушной среды в хранилище. Такие грунтовые теплообменники достаточно хорошо совмещены системой вентиляции хранилища. Следует отметить особенности предлагаемого принципиального решения. Так, в зимний период наружный воздух благодаря теплообмену с окружающим грунтовым массивом несколько подогревается и тем самым уменьшается установочная мощность теплообменника. В весеннее времена года наружный воздух имеет значение близкое температуры точки росы, значительно выше, чем температура внутренней поверхности грунтового теплообменника. Следовательно, в этом случае будет иметь место объемная конденсация влаги, и на выходе из грунтового теплообменника получим холодный воздух с относительной влажностью близкой к 100%.

При входе теплого и влажного воздуха на начальном участке грунтового теплообменника происходит охлаждения, а далее процесс теплообмена осуществляется с объемной конденсацией. Что касается обеспечения высокой относительной влажности воздуха в подземных хранилищах, то здесь следует учитывать поступление влаги через ограждающие конструкции за счет их паропроницания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хетцель О. Воздух из грунта, его получение и использование. -1944.
2. Ло Е.Г. Неиспользуемое богатство, воздух из грунта. -1950.
3. Стефанов Е.В. Результаты исследования неизотермического течения несжимаемой жидкости в подземных каналах и трубах //Инженерно-физический журнал XI-4-1966.

Мацкело В.В., магистр техн. наук
УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь

ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ ДРЕНАЖА ТЕПЛИЧНЫХ КОМБИНАТОВ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКИМ УДАРОМ

Ключевые слова: дренажная вода, обеззараживание, электроимпульсная технология, источник питания.

Аннотация. Рассмотрена электроимпульсная технология, как способ обеззараживания дренажных вод тепличных комбинатов. Приведено устройство источника питания для электрического разряда в жидкости, используемого в лабораторных исследованиях. Применены трансформатор и конденсаторы напряжением до 1000 В.

В овощеводстве опасность представляют инфекционные заболевания растений. К ним относят вирусные болезни, бактериальные и грибковые. При гидропонном способе выращивания растений эти болезни могут передаваться через стоки дренажа, а их возбудители обитать в самом субстрате.

В результате воздействий на стоки электрических и электромагнитных полей происходят изменения химических, физических свойств воды, электрических зарядов, находящихся в ней компонентов. Это позволяет значительную часть процессов обработки стоков осуществлять электротехнологическими способами, как наиболее эффективными [1]. При этом могут применяться источники энергии постоянного или переменного тока в зависимости от способа и целей обработки.

Электроимпульсная технология (ЭИТ) основана на воздействии на обрабатываемую жидкость ударных волн, генерируемых импульсным электрическим разрядом и вызывающих дезинтеграцию и гибель микроорганизмов. Использование ее при обеззараживании воды состоит в следующем: в объеме, занимаемом водой, формируется электрический разряд с помощью погруженных электродов, питающихся от импульсного источника электроэнергии.

Электрический разряд формирует ударную волну, которая распространяется в объеме воды. В результате в жидкой среде при прохождении ударной волны возникает градиент давления, который приводит к механическому уничтожению находящейся в ней микрофлоры.

Преимущества ЭИТ состоят в следующем:

- высокая экологическая чистота при обеззараживании воды;
- возможность использования при обработке непрозрачных жидкостей;
- низкая удельная энергоемкость (в десятки раз ниже по сравнению с тепловыми методами стерилизации).
- сохранение термически нестойких компонентов (витаминов и т.п.) за счет исключения из технологического процесса теплового нагрева.

В ходе лабораторных исследований разряда в модельной пробе дренажной воды с использованием делителя напряжения и осциллографа, было установлено, что при пропускании высокого напряжения через слабо соленый раствор сопротивление проводящей среды меняется в сотни раз. Это объясняет различие напряжения пробоя на конденсаторе и начального напряжения его заряда. Появилась возможность создания разряда и при напряжении, практически равном напряжению заряженного конденсатора. Для этого необходимо поддерживать напряжение на электродах более 10 мс. В начальный момент разряда (5-6 мс) из-за высокого сопротивления обрабатываемой среды, ток, проходящий через нее, значительно меньше, чем в конце разряда. Данная особенность обрабатываемой жидкости и позволила реализовать ее обеззараживание при более низком напряжении, не прибегая к дорогостоящим компонентам установки для повышения напряжения разряда. В итоге требовалось создать источник питания, который будет обеспечивать непрерывную подачу высокого напряже-

ния (2,5 кВ) при малом токе (порядка 0,6 А) и кратковременно при токе около (2-3 кА).

Основной источник высокого напряжения представляет собой кластер, состоящий из 4-х последовательно соединённых, устройств удвоения напряжения [2]. Используя данный подход, удалось избежать применения высоковольтных трансформаторов. Использованы унифицированные трансформаторы мощностью 360 Вт с напряжением вторичной обмотки 220-240 В, а также низковольтные конденсаторы. Экспериментальная установка имеет 8 конденсаторов ёмкостью 150,0 мкФ на напряжение 450 В. Рабочее напряжение на каждом из конденсаторов не превышает 340 В. Для получения крутого фронта импульса при коммутации, применён тиристор типа Т173-1250-40 с номинальным обратным напряжением 3000 В, и кратковременным (60мс) током до 20 кА (скорость нарастания более 300 А/мкс).

Таким образом стало возможным регулировать длительность импульса разряда, добиваясь более высокого КПД установки, одновременно повышая энергоэффективность обеззараживания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Колесников, В.А. Анализ, проектирование технологий и оборудования для очистки сточных вод [Текст] / В.А. Колесников, Н.В. Меньшутина. – М.: ДеЛи принт, 2005. – 266с.
2. АЛЕКОН [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: <http://alecon.co.il/>. Дата доступа – 23.10.2017.

Михайлова Я.В., магистр техн. наук,

Радкевич В.Н. к.т.н., доцент

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

ПОКАЗАТЕЛИ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ СВЕТОВОГО ПРИБОРА С ИНДУКЦИОННОЙ ЛАМПОЙ

Ключевые слова: освещение, индукционная лампа, световой прибор, напряжение, активная мощность, реактивная мощность, электропотребление, энергоэффективность

Аннотация. В работе исследованы показатели электропотребления светового прибора с индукционной лампой типа Saturn LVD-WJY300HW1. В зависимости от величины подведенного напряжения экспериментальным путем получены значения тока, активной и реактивной мощности индукционной лампы. Анализ полученных результатов показал, что световой прибор с индукционной лампой при допустимых уровнях подведенного напряжения, потребляя практически неизменную активную мощность, генерирует реактивную мощность.

Индукционная лампа – это безэлектродная газоразрядная лампа, в которой первичным источником света служит плазма, возникающая в результате ионизации газа под действием высокочастотного магнитного поля. Лампа состоит из колбы, наполненной инертным газом, внутренняя поверхность которой может быть покрыта тонким слоем люминофора, магнитного кольца и катушки индуктивности. Ее работу обеспечивает электронный балласт, который генерирует ток с рабочей частотой 130-250 кГц [1-3].

По данным производителей световая отдача ламп составляет 80-160 лм/Вт, КПД светового прибора - порядка 90 %, срок службы - 60000-150000 часов. Высокая световая отдача индукционных ламп позволяет считать их энергоэффективными источниками света.

Использование таких ламп обеспечивает снижение расхода электроэнергии на искусственное освещение объектов различного назначения, включая сельскохозяйственные комплексы, комбинаты, промышленные объекты и др. В отдельную категорию выделяют индукционные лампы, применяемые для освещения растений – биспектральные фитолампы, спектр излучения которых лежит в синем и красном цветовых диапазонах.

В доступной технической литературе для световых приборов с индукционными лампами нет информации о статических характеристиках активной и реактивной мощности по напряжению, отсутствуют нормативно-технические документы, регламентирующие их применение, методики расчетов, учитывающие особенности режимов работы индукционных ламп. В то время как переход на электрическое освещение световыми приборами с индукционными лампами должен обосновываться технико-экономическими расчетами на основе конкретных исходных данных. Поэтому определение показателей электропотребления световых приборов с индукционными лампами представляет определенный интерес.

В связи с этим были проведены экспериментальные исследования зависимости от напряжения U следующих показателей электропотребления светильника с индукционной лампой типа *Saturn LVD-WJY300HW1*: потребляемого тока I , активной потребляемой мощности P , реактивной мощности Q . Светильник имеет номинальное напряжение 220 В, номинальную мощность 316 Вт, коэффициент мощности $\cos\varphi = 0,98$.

Измерения показателей электропотребления проводились на лабораторной установке, измерительным прибором которой являлся электронный счетчик типа «Гран-Электро СС-301». Класс точности счетчика по активной и реактивной энергии -1. Результаты измерений при изменении подведенного напряжения U в диапазоне 150 - 240 В приведены в таблице 1.

В результате исследования выяснилось, что индукционная лампа сохраняет работоспособность в широком диапазоне подведенного напряжения.

При снижении напряжения потребляемая активная мощность и ток лампы увеличиваются. Реактивная мощность световым прибором не потребляется до напряжения 190 В, поскольку электронный балласт лампы обеспечивает максимальное значение коэффициента мощности.

Таблица 1 – Характеристики электропотребления индукционной лампы

Подведенное напряжение, В	Ток, А	Активная мощность, Вт	Реактивная мощность, вар
150	2,151	321	0
160	2,001	320	0
170	1,886	320	0
180	1,786	318	0
190	1,674	316	0
200	1,584	315	-5
210	1,487	311	-8
220	1,416	310	-11
230	1,357	310	-12
240	1,294	310	-14

При $U > 190$ В световой прибор с индукционной лампой переходит в режим генерирования реактивной мощности. При этом с

изменением напряжения в диапазоне от 200 до 240 В величина генерируемой реактивной мощности увеличивается в 2,8 раза.

Заключение.

Световые приборы с индукционными лампами имеют свои специфические особенности электропотребления, которые следует учитывать при расчете электрических осветительных сетей по допустимому нагреву и потере напряжения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кунгс Я.А. Индукционные лампы / Я.А. Кунгс, О.А. Ковалева, В.В. Кибардин // Вестник красноярского государственного аграрного университета. – 2013. – №8. – С. 191 - 198.
2. Рейтер Т. Лампы для экономного освещения / Рейтер Т. // Промышленно-строительное обозрение. – 2012. – № 142.
3. Макареня, С. Индукционная лампа – источник качественного и энергоэффективного освещения / С. Макареня, А. Павлов, Н. Фомин // Современная электроника. – 2011. – № 9. – С. 8–13.

Нестерчук Д.Н., к.т.н., доцент
*Таврический государственный агротехнологический
университет, Мелитополь*

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ БЛОК УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Ключевые слова: Надежность, управление, защита, асинхронный электродвигатель, многофункциональный блок.

Аннотация. В работе обоснована структура и разработана схема электрическая структурная многофункционального блока управления и защиты, описано назначение функциональных блоков и узлов.

Надежность АД определяется надежностью обмоток, техническое состояние которых зависят от состояния изоляции. В процессе эксплуатации на АД оказывают влияние эксплуатационные факторы, последствием которых является возникновение аварийных режимов. Анализ литературных источников [1,2] показал, что рас-

пространственными устройствами среди устройств мониторинга и защиты являются устройства релейной защиты и автоматики, настроенные на характеристики и параметры срабатывания в соответствии с паспортом АД, но, в большинстве случаев необъективно реагирующие на изменение эксплуатационных факторов.

Цель исследований - обоснование структуры многофункционального блока управления и защиты АД с к.з. ротором и разработка схемы электрической структурной.

Блок управления и защиты АД осуществляет постоянный контроль наличия напряжения питания и фазные токи с автоматическим отключением АД при возникновении аварийного режима. Блок обеспечивает эффективную защиту АД при замыканиях на «землю» обмотки статора, при технологических и токовых перегрузках, при обрыве фазного провода, защиту по величине минимального пускового тока, а также осуществляется дистанционный обмен и передача измерительной информации с диспетчерским пультом.

На рис. 1 представлена схема структурная многофункционального блока управления и защиты трехфазного АД.

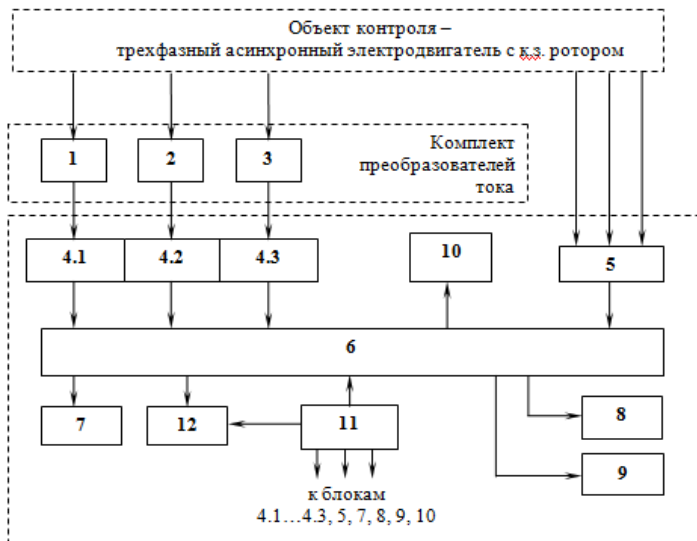


Рисунок 1 – Структурная схема многофункционального блока управления и защиты трехфазного АД

Рассмотрим назначение каждого структурного блока разработанного блока управления и защиты более детально:

- дифференциальный трансформаторный преобразователь тока (1) защищает электродвигатель по току утечки;
- датчики тока (2) и (3) в комплекте преобразователей тока предназначены для измерения и преобразования фазных токов АД. Следует отметить, что комплект преобразователей тока состоит из трёх тороидальных датчиков тока, два из которых – это датчики фазных/линейных токов, через которые проходят силовые провода, а третий дифференциальный датчик отличается увеличенным диаметром;
- блоки обработки сигналов с датчиков тока (4.1), (4.2) и (4.3) обрабатывают и преобразуют электрические измерительные сигналы с датчиков (2) и (3) для функционирования микроконтроллера (6);
- асиметр (5) контролирует величину и уровень напряжения питания, а также защищает АД от неполнофазного режима [3];
- микроконтроллер (6) осуществляет сбор измерительных сигналов с блоков (1), (2), (3), (4) и (5), обрабатывает их, сравнивает с нормирующими величинами уставок, а также формирует электрические сигналы управления на блоки (7), (8), (9) и (10);
- узел управления АД (7) отключает аварийный АД при наличии критических значений, которые превышают значения уставок по току и по напряжению;
- световой сигнализационный блок «Работа» (8) представляет световой сигнал зеленого цвета при нормальной работе АД;
- световой сигнализационный блок «Авария» (9) представляет световой сигнал красного цвета при аварийном режиме работы АД;
- блок цифровой индикации (10) предназначен для визуализации измерительной информации о величинах фазного тока и напряжения;
- коммуникационный порт (12) осуществляет коммуникацию блока управления и защиты с диспетчерским пультом через радиоканал по протоколу RS-485 [3];
- блок питания (11) предназначен для подачи питания на блоки (4.1)...(4.3), (5)... (10).

ЛИТЕРАТУРА

1. Гольдберг О.Д. Надежность электрических машин: учебник для студ. высш. учеб. заведений / О.Д. Гольдберг, С.П. Хелемская; под ред. О.Д. Гольдберга. – М.: Издательский центр “Академия”, 2010. – 288 с.

2. Кузнецов Н.Л. Надежность электрических машин / Н.Л. Кузнецов – М.: Издательский дом МЭИ, 2006. – 432 с.
3. Нестерчук Д.М. Захист асинхронних електродвигунів від аварійних режимів роботи / Д.М. Нестерчук // Праці ТДАТУ. – Випуск 11, том 3. – Мелітополь: ТДАТУ, 2011. – с. 56 - 65.

Нефедов С.С., ассистент; Крутов А.В., к.т.н., доцент
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь

ЭЛЕКТРОЛИЗНАЯ ОБРАБОТКА ЖИДКОГО ПТИЧЬЕГО ПОМЕТА

Ключевые слова: птичий помет, жидкий субстрат, аммиак, электролиз, межэлектродная мембрана, анолит, католит.

Аннотация. В работе рассматриваются результаты исследования электрохимической обработки жидкого субстрата на основе птичьего помета. Предложенный способ обработки позволяет снизить в исходном сырье концентрацию аммиачного азота, что повышает эффективность производства биогаза из птичьего помета.

Птичий помет является ценным сырьем для производства биогаза. Однако полноценному его использованию в биогазовых установках препятствует ряд факторов. В частности, птичий помет характеризуется высокой концентрацией аммонийного азота (NH_4^+ и NH_3), который оказывает отрицательное воздействие на процесс метанообразования. Концентрация аммонийного азота в птичьем помете в несколько раз превышает предельно допустимое значение [1-4].

Проведенные исследования показали, что снизить концентрацию аммонийного азота в птичьем помете возможно при его электрохимической обработке. Наиболее эффективным является метод электролиза с межэлектродной мембраной.

Электрохимическая обработка жидкого субстрата на основе птичьего помета проводилась в электролизере на модельных растворах с монополярным включением электродов из нержавеющей

стали 12X18H10T в форме пластин и с межэлектродной мембраной из плотного льняного волокна. Для измерений использовались амперметр и вольтметр магнитоэлектрической измерительной системы, а также электронный секундомер. Питание схемы производилось от сети переменного напряжения 380/220 В через автотрансформатор. Каждый опыт повторялся три раза. Концентрация аммонийного азота в пробах определялась в аналитической лаборатории БГАТУ по стандартным методикам.

Результаты электрообработки субстрата приведены в табл.

При электролизе происходит миграция ионов аммония через межэлектродную мембрану в катодную камеру, что приводит к снижению концентрации азота в анолите. В католите происходит химическая реакция восстановления ионов аммония до газообразного аммиака, который частично растворяется в жидком субстрате. Получаемый анолит, имеющий концентрацию азота близкую к желаемой, можно использовать в биогазовой установке.

Таблица – Результаты электрохимической обработки субстрата птичьего помета.

N	Напря- женность, E, В/м	Кол. электри- чества, Q, А·с	Плотность тока, j, А/м ²	Удельный расход эл. энергии, кВтч/м ³	n	Концентрация ам- миака, мг/дм ³			Разность конц. между исх. и анол., мг/дм ³
						исх.	ан.	кат.	
1	100	200	15,2...21,4	0,79	1	714	493	668	221
					2	748	425	680	323
					3	357	100	408	257
2	100	700	15,6...22,4	2,78	4	578	0	731	578
					5	901	102	799	799
					6	0	0	0	0
3	175	450	25,2...35,4	3,13	7	108	0	243	108
					8	714	0	680	714
					9	527	204	578	323
4	250	200	27,7...68,5	1,98	10	731	0	544	731
					11	833	510	748	323
					12	918	365	544	553
5	250	700	42,7...65,5	6,94	13	668	0	782	668
					14	660	170	550	490
					15	391	0	561	391

Выводы

1. Электрообработка субстрата жидкого помета в электролизере с межэлектродной мембраной позволяет снизить концентрацию аммонийного азота в анолите. При этом желаемый эффект может быть достигнут при удельных энергозатратах менее 1 кВт/м^3 .

2. В ряде опытов в катодной камере был получен субстрат с повышенной концентрацией аммонийного азота по сравнению с исходным субстратом. Такой католит можно использовать как азотное удобрение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Утилизация отходов птицеводства при помощи биообъектов / С.Л. Максимова // Экология на предприятии. – 2014. – №12. – С.42.
2. Птичий помет. Состав и применение / В.Н. Босак // Наше сельское хозяйство. – 2015. – №9. – С.42.
3. Дабаева, М. Д. Эколого-безопасная утилизация отходов: монография / М. Д. Дабаева, И. И. Федоров, А. И. Куликов; Бурят. гос. с.-х. академия. – Улан-Удэ: Изд-во БГСХА, 2001. – 94 с.
4. Интенсификация анаэробного сбраживания птичьего помета / В.И.Марченко // Техника в сельском хозяйстве. – 2011. – №6. – С.27-29.

Попова И.А., к.т.н., доцент, Курашкин С.Ф., к.т.н., доцент
Таврический государственный агротехнологический
университет, г. Мелитополь, Украина

ДАТЧИК КОНТРОЛЯ НЕСИММЕТРИИ НАПРЯЖЕНИЯ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Ключевые слова: несимметрия напряжения, асинхронный двигатель, аналог лямбда-диода.

Аннотация. Разработан датчик контроля несимметрии напряжения на зажимах асинхронных двигателей. Представлена принципиальная электрическая схема датчика, его вольт-амперные характеристики при нормальном напряжении и несимметричном режиме, предусмотрена возможность использовать датчик для контроля

напряжения группы асинхронных двигателей технологической линии.

Опыт эксплуатации электрооборудования в сельском хозяйстве свидетельствует о том, что большая аварийность асинхронных двигателей обусловлена особенностями их эксплуатации, к специфическим условиям следует отнести низкое качество напряжения в сети, в частности, его несимметрию. Несимметрия напряжений сети является специфической особенностью сельских распределительных сетей 0,38/0,22 кВ, поскольку они отличаются большой протяженностью и смешанным подключением однофазных и трехфазных потребителей. Поэтому разработка датчика контроля несимметрии напряжения асинхронных двигателей является актуальной задачей.

В современных электронных устройствах контроля режима работы асинхронных двигателей используют аналог лямбда-диода (АЛД) на полевых транзисторах – они энергоэкономичны (в дежурном режиме ток не превышает 5 мА), имеют участок вольт-амперной характеристик (ВАХ) с отрицательным дифференциальным сопротивлением, параметры ВАХ можно регулировать в широких диапазонах. Однако при использовании АЛД на полевых транзисторах на их работу могут влиять сопротивления проводников, электромагнитные поля работающих двигателей большой мощности.

Датчик на биполярных транзисторах не имеет этих недостатков, принципиальная электрическая схема его приведена на рисунке 1.

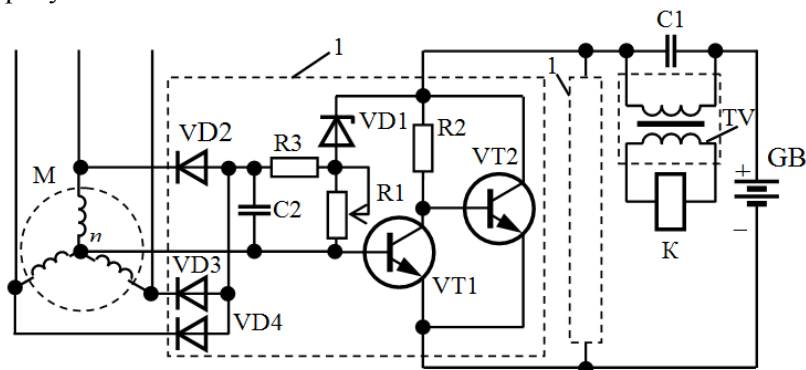


Рис. 1 – Принципиальная электрическая схема датчика несимметрии напряжения асинхронных двигателей

В датчике на биполярных транзисторах нет необходимости подбора комплементарной пары, а за счет подбора параметров схемы можно в значительном диапазоне увеличить ширину основания ВАХ, за счет этого использовать его для контроля рассредоточенных объектов. Количество датчиков контроля (на рис.1 обозначен цифрой 1) принимается равным количеству контролируемых двигателей.

В работе аналога лямбда-диода используется участок АВ ВАХ (на рис. 2 – сплошная линия).

АЛД содержит пару биполярных транзисторов VT1, VT2, резисторы R1, R2 и стабилитрон VD1. Последовательное соединение датчиков 1 контроля несимметрии напряжения, выполненных по схеме АЛД с параллельным резонансным L-С контуром, который состоит из первичной обмотки трансформатора напряжения TV и конденсатора C1 и образует генератор гармонических колебаний [1].

При симметричном напряжении сети на контролируемых двигателях отсутствует напряжение смещения нейтрали, транзистор VT1 заперт. ВАХ одинакова для всех датчиков контроля несимметрии напряжения. Напряжение U_B (рис. 2) меньше, чем напряжение U_{ucm} источника питания GB, АЛД закрыт, генерация гармонических колебаний отсутствует.

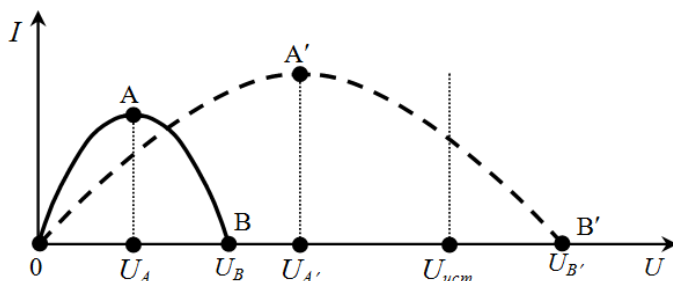


Рисунок 2 – ВАХ датчика контроля несимметрии напряжения

При появлении несимметрии напряжений сети (обрыв фазы), на асинхронном двигателе появляется напряжение смещения нейтрали на одном из контролируемых двигателей, увеличивается

потенциал на базе транзистора VT1 соответствующего датчика 1, что приводит к смещению ВАХ АЛД вправо (на рис. 2 – прерывистая линия). Если напряжение U'_B оказывается больше напряжения источника $U_{ист}$, в L-С контуре возникают колебания. Во вторичной обмотке трансформатора TV наводится э.д.с., промежуточное реле К срабатывает, сигнализируя о достижении напряжения нулевой последовательности на контролируемом двигателе порогового значения. Диоды VD2-VD4 являются фильтром напряжения нулевой последовательности.

Разработанное устройство позволяет контролировать несимметрию напряжений группы электродвигателей, например, может быть использован в схемах их защиты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Патент. МПК (2007) G01K 7/16, Н 02 Н 7/09. Пристрій контролю електродвигунів при несиметрії напруги /А.Я. Чураков, І.О. Попова, С.Ф. Курашкін (Україна). Заяв.17.05.2007; Опубл.15.12.2007.

**Прищепов М.А., д.т.н., доцент, Иванов Д.М., аспирант,
Прищепова Е.М., ст. преподаватель
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь**

СТАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ ЧАСТОТНОМ РЕГУЛИРОВАНИИ СКОРОСТИ

Ключевые слова: частота питающего напряжения, число пар полюсов, синхронная угловая скорость, механические характеристики.

Аннотация. В статье рассмотрены разомкнутые системы частотного скалярного управления и влияние на них сделанных допущений.

Частотный метод регулирования угловой скорости АД является наиболее энергоэффективным и широко используемым. Принцип частотного метода регулирования скорости АД заключается в том, что изменяя частоту f_1 питающего напряжения U_1 при неизменном числе пар полюсов p можно изменять синхронную угловую скорость магнитного поля статора ω_0 , в соответствии с выражением[1]:

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_1}{p}. \quad (1)$$

Изменяя частоту f_1 питающего напряжения U_1 , можно получить семейство искусственных механических характеристик АД. При этом следует учесть, что с изменением частоты f_1 питающего напряжения U_1 изменяется и величина потока возбуждения Φ_1 АД, пропорционально отношению питающего напряжения U_1 к его частоте f_1 , т.е. $\Phi_1 \equiv U_1/f_1$. Поэтому для получения высоких энергетических показателей электропривода (ЭП) одновременно с изменением частоты f_1 питающего напряжения U_1 нужно регулировать и его величину, причём регулирование величины напряжения U_1 следует производить таким образом, что бы абсолютное скольжение АД на искусственной механической характеристике было близким к номинальному абсолютному скольжению на естественной характеристике. Для обеспечения этого условия при разработке ЭП необходимо согласовывать искусственные механические характеристики АД с его нагрузкой, т.е. с механическими характеристиками производственных механизмов.

Соответственно, при частотном управлении в электроприводе реализуется один из статических законов частотного управления [2]:

$$1) \frac{U_1}{f_1} = \frac{U_{1H}}{f_H} = const; \quad (2)$$

$$2) \frac{U_1}{\sqrt{f_1}} = \frac{U_{1H}}{\sqrt{f_H}} = const; \quad (3)$$

$$3) \frac{U_1}{f_1^2} = \frac{U_{1H}}{f_H^2} = const; \quad (4)$$

4) оптимальный закон Костенко:

$$\frac{U_1}{U_{1H}} = \frac{f_1}{f_H} \cdot \sqrt{\frac{M_C}{M_H}}; \quad (5)$$

5) закон постоянства потокосцепления статора:

$$\Psi_1 = const \text{ или } \frac{E_s}{f_1} = const \text{ или } IR \text{ компенсации};$$

6) закон постоянства потокосцепления цепи намагничивания:

$$\Psi_m = const \text{ или } \frac{d\Psi_m / dt}{f_1} = const \text{ или } \frac{E_1}{f_1} = const;$$

7) закон постоянства потокосцепления ротора:

$$\Psi_2 = const \text{ или } \frac{d\Psi_2 / dt}{f_1} = const \text{ или } \frac{E'_2}{f_1} = const;$$

8) закон постоянства абсолютного скольжения:

$$s_a = s \cdot \alpha = const \text{ или } s_a = \frac{\omega_1 - \omega}{\omega_1} \cdot \frac{\omega_1}{\omega_{1H}} = const$$

9) минимизация тока статора $I_1 \rightarrow \min$;

10) закон максимальной эффективности $\eta \rightarrow \max$ ($P_1 \rightarrow \min$)
и другие,

где ω_1, f_1 – синхронная угловая скорость электромагнитного поля и соответствующая ей частота питающего напряжения статора АД, рад/с, Гц;

U_1 – значение питающего напряжения статора АД, В;

ω_{1H}, f_H – номинальная угловая скорость электромагнитного поля и соответствующая ей номинальная частота питающего напряжения статора АД, Гц;

U_{1H} – номинальное напряжение питания статора, В;

M_C – статический момент на рабочем валу механизма, Н·м;

M_H – номинальный момент на рабочем валу механизма при номинальной угловой скорости, Н·м;

ω – угловая скорость ротора, рад/с;

Ψ_1, Ψ_2, Ψ_m – потокосцепления, соответственно, статора, ротора, и взаимоиндукции, В·с;

E_s, E_1, E'_2 – ЭДС, соответственно, статора, взаимоиндукции и ротора, приведенная к обмотке статора, В;

$\alpha = f_1 / f_H$ – относительное значение частоты питающего напряжения;

s – скольжение АД, о.е.;

s_a – абсолютное скольжение АД, о.е.;

I_1 – текущий ток статора, А;

P_1 – потребляемая мощность АД, Вт;

η – КПД двигателя.

Формирование закона может выполняться как в разомкнутом, так и в замкнутом контуре управления.

Область применения разомкнутых систем управления ограничивается механизмами с небольшим диапазоном регулирования скорости и механизмами с известной механической характеристикой, т.е. зависимостью статического момента M_C на рабочем валу механизма от угловой скорости ω $M_C = f(\omega)$. В частности, жёсткое задание зависимости $U_1 = f(\omega_1)$ хорошо подходит для управления механизмами насосно-вентиляторной группы.

Если механическая характеристика нагрузки $M_C = f(\omega)$ известна, то расчёт зависимости $U_1 = f(\omega_1)$ может быть выполнен на основе статической модели АД с учётом выбранного закона частотного управления. Пока закон частотного управления не задан, задача расчёта $U_1 = f(\omega_1)$ по $M_C = f(\omega)$ решается неоднозначно.

Приведенные выше зависимости законов частотного управления справедливы для идеализированного двигателя, в котором сделаны следующие допущения:

- активное сопротивление обмотки статора равно нулю;
- магнитная система АД не насыщена;
- отсутствуют потери в стали магнитной системы АД.

Далее возьмём двигатель серии АИР160S2 [3] и построим для него искусственные механические характеристики, в двигательном и генераторном режимах при регулировании по наиболее часто используемому закону $U/f = \text{const}$ и значениях частоты напряжения обмотки статора 50, 25, 10, 5 Гц (рис.1).

Механическая характеристика $M=f(\omega)$ АД при переменных значениях величины и частоты напряжения питания определяется выражением [4]:

$$M = \frac{3 \cdot U_1 \cdot r'_2}{\omega_0 \cdot S \cdot \left[x_K^2 \cdot a^2 + \left(r_1 + \frac{r'_2}{S} \right)^2 + \left(\frac{r_1 \cdot r'_2}{S \cdot x_\mu \cdot a^2} \right)^2 \right]}, \quad (6)$$

где U_1 – фазное напряжение питания обмоток статора асинхронного двигателя, В;

$\alpha=f_1/f_{1H}$ – относительное значение частоты питающего напряжения;

r_1 – активное сопротивление обмотки статора, Ом;

r'_2 – активное сопротивление обмотки ротора, приведенное к обмотке статора, Ом;

x_K – индуктивное сопротивление короткого замыкания Ом;

x_μ – индуктивное сопротивление ветви намагничивания, Ом;

s – скольжение АД, о.е.

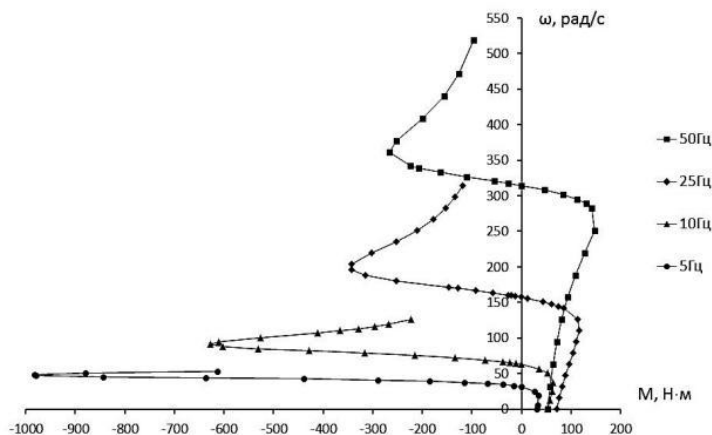


Рисунок 1. Искусственные механические характеристики $M=f(\omega)$, при различных частотах питающего напряжения статора и законе регулирования $U/f=\text{const}$ для двигателя AIP160S2

Анализ полученных механических характеристик АД (рис.1) показывает, что максимальный или критический момент в генераторном режиме больше, чем в двигательном при одной и той же частоте f_1 напряжения питания U_1 статора, и в противоположность

двигательному режиму возрастает с понижением частоты f_1 и напряжения U_1 статора АД. Это явление обусловлено возрастающей ролью активного сопротивления статора. При относительной частоте напряжения питания статора $\alpha=1 \dots 0,5$ двигатель работает в условиях близких к номинальным, т.е. поток возбуждения практически остаётся неизменным в силу незначительных относительных потерь в статоре. При дальнейшем уменьшении α происходит ощутимое снижение потока возбуждения, обусловленное значительными относительными потерями в активном сопротивлении статора, так как ток статора $I_1 \equiv M_c = const$. Соответственно, при таком снижении частоты f_1 и величины напряжения U_1 статора в двигательном режиме значительно снижается развиваемый критический момент на валу двигателя, а в генераторном режиме при преобразовании механической энергии в электрическую с рекуперацией её в сеть он значительно возрастает, тем самым покрывая относительно возрастающие потери в статоре АД. В итоге это снижает диапазон регулирования скорости АД.

ЛИТЕРАТУРА

1. Прищепов М.А., Иванов Д.М., Прищепова Е.М. Расчёт статических характеристик асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором в двигательном и генераторном режимах при частотном регулировании скорости и стабилизации потока возбуждения статора // Агропанорама, 2016. - №6. – с.20-30.
2. Прищепов М.А., Прищепова Е.М., Иванов Д.М. Расчёт статических характеристик асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором в двигательном и генераторном режимах при частотном управлении скоростью и стабилизации потока возбуждения // Агропанорама, 2017. - №2. – с.26-36.
3. Асинхронные двигатели каталог ОАО «Могилёвский завод «Электродвигатель» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mez.by>. – Дата доступа: 04.10.2017.
4. Чернышев А.Ю., Дементьев Ю.Н., Чернышев И.А / Электропривод переменного тока: учебное пособие; Томский Политехнический Университет. - Томск: Издательство Томского Политехнического университета, 2011. - 203 с.

**Равинский Н.А., ст. преподаватель, Качалко А.С., ассистент
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь**

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ЛЬНЯНОЙ ТРЕСТЫ НА ЛИНИЯХ ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ЛЬНА

Ключевые слова: льнотреста, влажность, измерение, переработка.

Аннотация. Проанализированы основные возможные методы измерения влажности льнотресты. Показаны достоинства и недостатки рассмотренных методов, а также их возможность применения на поточной линии.

Для достижения высоких показателей первичной переработки льнотресты на линиях первичной переработки льна важно знать влажность поступающего на переработку материала, поскольку данная характеристика является одним из важнейших параметров, влияющих на количество и качество полученного впоследствии длинного льняного волокна [1].

Для измерения влажности льняной тресты на производстве и в лабораториях используют влагомеры и измерительные устройства, основанные на различных методах измерения влажности, которых на сегодняшний день существует большое количество и разнообразие.

Термогравиметрический метод (метод высушивания) является наиболее распространенным методом определения влажности льнотресты. При этом производится воздушно-тепловая сушка материала до его постоянного веса. Метод высушивания льнотресты регламентирует [2]. Влажность определяют влагомерами типа ВЛР-1, сушильным шкафом СШ-1 и т.д.

Несмотря на относительную высокую точность измерений, данному методу присущи и недостатки: в ходе сушки образуется водонепроницаемая корка, препятствующая дальнейшему удалению влаги; прекращение сушки соответствует не полному удалению

влаги, а равновесию между давлением водяных паров в материале и давлением водяных паров в воздухе.

Метод высушивания - достаточно длительный по времени процесс, что не позволяет данному методу быть использованным на поточных линиях льнопереработки.

Кондуктометрический - это метод измерения влажности, при котором материал, являющийся диэлектриком в сухом виде, при увлажнении становится проводником. В общем случае датчики таких измерителей влажности представляют собой два электрода, с которыми контактирует исследуемый материал. При этом, на достоверность показаний значительное влияние оказывает ряд факторов (температура, плотность льнотресты, ее неоднородность), что затрудняет использование такого метода в линии первичной переработки льна. Недостатками кондуктометрического метода измерения влажности также являются необходимость контакта электродов с материалом и ограничения, связанные с трудностью измерения больших сопротивлений льнотресты, влажностью до 18%.

Емкостный метод измерения влажности основан на том, что диэлектрическая проницаемость сухого вещества равна 2..5, а диэлектрическая проницаемость воды - 81, поэтому величина диэлектрической проницаемости значительно меняется даже при небольшом изменении содержания влаги в веществе. Диэлектрическую проницаемость влажного материала определяют по изменению емкости конденсатора, между обкладками которого находится исследуемое вещество.

Влагомерами данного типа, в отличие от влагомеров кондуктометрического метода, возможно измерять низкие значения влажности (до 4%), однако диэлектрическая проницаемость многих веществ зависит также от температуры и поверхностной плотности материала. Вследствие этих недостатков применение этого метода для контроля влажности льнотресты нецелесообразно.

Оптические методы основаны на зависимости оптических свойств материалов от их влажности. В оптических влагомерах используется преимущественно ближняя область инфракрасного спектра, поскольку в этой области происходит избирательное поглощения влагой инфракрасного излучения определенной длины волны.

Инфракрасные влагомеры обладают хорошими характеристиками, однако при измерении влажности льнотресты необходимо учи-

тивать тот факт, что льнотреста пропускает энергию инфракрасного излучения только при малой толщине образцов (3..7 мм) [3]. При большей толщине ее можно рассматривать как среду, отражающую и поглощающую инфракрасное излучение. В результате влажность внутри слоя тресты остается неопределенной, что в итоге увеличивает погрешность измерений.

Сверхвысокочастотные (СВЧ) влагомеры, основанные на зависимости от влажности диэлектрических свойств материалов в диапазоне дециметровых и сантиметровых волн, в настоящее время все чаще используются измерения влажности твердых, сыпучих и жидких материалов [4]. Они отличаются высокой чувствительностью к величине влагосодержания, связанной с дисперсией обеих составляющих комплексной диэлектрической проницаемости, которая проявляется в диапазоне СВЧ, а также менее чувствительны к мешающим факторам по сравнению с кондуктометрическими и емкостными влагомерами.

Сверхвысокочастотные влагомеры также не лишены недостатков, требующих разработки многопараметровых СВЧ, компенсирующих влияние плотности и толщины слоя исследуемого материала.

Таким образом, из рассмотренных выше методов измерения влажности льнотресты, наиболее приемлемыми являются оптический инфракрасный и сверхвысокочастотный, при этом СВЧ влагомеры предпочтительнее, поскольку они позволяют измерять влажность по всей толщине слоя с учетом компенсации возмущающих воздействий при измерении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Голуб, А.И. Льноводство Беларуси / А. И. Голуб, А. З. Чернушок. – Борисов: Борисовская укрупненная типография, 2009. – 243 с.
2. СТБ 1194-2007. Треста льняная. Требования при заготовках / Взамен СТБ 1194-99. Дата введ. 01.06.2008. - Минск : БелГИСС, 2008. - 15 с.
3. Корсунский, М.Д. Измерение влажности древесной стружки методом инфракрасной спектроскопии. - Москва, 1983. - 44 с.
4. Kraszeoski A. Microave Aquametry. A Review. - The Journal of Microwave Power, 15(4), 1980, p.p. 209-220.

Речина О.Н., инженер
*Таврический государственный агротехнологический
университет, Мелитополь*

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОБЛУЧЕНИЯ РАСТЕНИЙ В ТЕПЛИЦЕ

Ключевые слова: фотосинтез, рациональное использование электроэнергии, способ облучения растений.

Аннотация. Рассмотрена концепция создания энергоэффективной технологии облучения растений в теплице.

Развитие и совершенствование тепличного производства остается в ряду важнейших задач агропромышленного комплекса. Сегодня на территории Украины функционирует 2,9 тыс. га теплиц. Значительная часть из них оснащена установками для искусственного оптического облучения. В структуре себестоимости продукции таких тепличных комплексов (особенно зимних) расходы на искусственное облучение растений составляют около 40% от всей потребляемой теплицей электроэнергии, что в свете роста тарифов на электроэнергию также является важной проблемой. В виду новой энергетической стратегии Украины «Безопасность, энергоэффективность, конкурентоспособность» [1] разработка нового электрооборудования и технологий, снижающих энергетические затраты, в том числе и в системе искусственного оптического облучения растений, является актуальной задачей, решение которой позволит снизить себестоимость тепличной продукции и расширить ее производство.

Для облучения растений в теплицах широко используются автоматическое программное или фотоавтоматическое управления с установкой программного реле, фотореле или фотоэлектрического автомата, включающих светотехническое оборудование в зависимости от уровня естественного освещения или времени суток. При таком управлении трудно достичь высокой точности накопления агротехнической нормы суточной суммы фотосинтетически актив-

ной радиации (ФАР), а, следовательно, и усложняется задача управления сроком созревания овощной продукции [2]. Длительная работа светотехнического оборудования в весенний период также повышает тепловую нагрузку растений.

В виду выше сказанного предлагается вести облучение растений с максимальным использованием инсоляции. Концептуально работа системы основана на законе взаимозаменяемости Бунзена - Роско: концентрация продуктов фотохимической реакции пропорциональна общему количеству энергии излучения, поглощенного светочувствительным веществом (хлорофиллом) независимо от соотношения энергетических составляющих и количественно равна произведению мощности излучения на время его действия - экспозиции. Иными словами, увеличение времени облучения и увеличение мощности излучения взаимозаменяемы.

Для успешного выращивания растений в теплице необходимо обеспечить поступление суточной суммы ФАР к растениям на уровне агротехнологической нормы (АН) ФАР. В зимне-весенний период АН ФАР достигается путем сочетания инсоляции с дополнительным облучением растений от искусственных источников света. Решение относительно необходимости включения последних должно приниматься на основании сравнения заданной АН ФАР с прогнозируемым значением. Прогноз вероятности поступления АН суточной суммы ФАР к растениям определяется как сумма действительно накопленной растениями к данному моменту времени суммы ФАР, прогнозируемого прихода суммы ФАР до конца данного светового дня и обязательной составляющей суточной суммы ФАР, которая обеспечивает заданный фотопериод выращиваемой культуры.

$$F_{\Sigma} = F_{\Sigma \text{действ}}^i(t_i - t_в) + k_1 k_i F_{\Sigma \text{прогноз}}^{n-i}(t_3 - t_i) + F_{\Sigma \text{обязат}}(t - t_3 - t_n) \quad (1)$$

где n - количество отрезков времени, на которые разбит световой день;

$t_в$ - время восхода солнца, час;

t_3 - время заката солнца, час;

t_n - время низкой интенсивности ФАР, час;

t - фотопериод выращиваемой культуры, час;

k_1 - коэффициент ослабления инсоляции покрытием теплицы;

k_i - коэффициент ослабления инсоляции от облачности.

Принцип прогнозирования поступления суточной суммы ФАР в теплицу проиллюстрировано на рисунке 1.

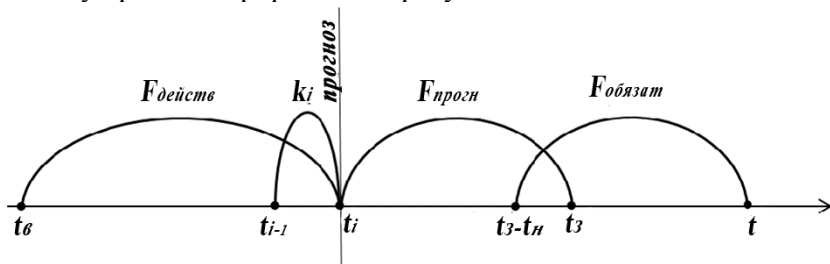


Рисунок 1 - Принцип прогнозирования прихода суточной суммы ФАР в теплицу

Рассчитать прогнозируемый приход фотосинтетически активной радиации к растениям в теплице до конца светового дня возможно при использовании уравнения интенсивности солнечной радиации, т.н. модели «безоблачного неба» [3].

Интервалы времени, через которые должна проходить корректировка графика поступления АН суточной суммы ФАР к растениям определяется требуемой точностью регулирования, типом источника света и степенью устойчивости поступления солнечной энергии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Енергетична стратегія України до 2035 року “Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність” [Електронний ресурс].

Режим доступу:

http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk_id=245165726.

2. Сабо А.Г. Управління освітленістю тепличних культур залежно від програмування врожаю /А.Г. Сабо, О.М. Речина / Праці Таврійського державного агротехнологічного університету : наукове фахове вид.; Вип. 11, т. 4. Мелітополь: ТДАТУ, 2011.- с. 213-219.

3. Сабо А.Г. Підвищення ефективності енергоспоживання в спорах захищеного ґрунту шляхом максимізації використання природної фотосинтетично активної радіації / А.Г. Сабо, О.М. Речина.

на / Праці Таврійського державного агротехнологічного університету вип.8.-т.5.-Мелітополь: ТДАТУ, 2008.-с 63-69.

Рутковский И.Г., Рутковская Н.В.
УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь

РАСЧЕТ КОНСТРУКЦИИ МНОГОЗОННОГО ПРОТОЧНОГО ЭЛЕКТРОДНОГО НАГРЕВАТЕЛЯ

Ключевые слова: нагреватель, электродный нагрев, расчет.

Аннотация: Конструкция проточного многозонного электродного нагревателя рассчитывается с учетом температурной зависимости сопротивления обрабатываемой среды. От температуры зависит сопротивление в межэлектродном пространстве и распределение напряжений на зонах нагрева. Описана методика определения межэлектродного расстояния, ширины и длины электродов нагревателя.

Расчет конструкции проточного электродного нагревателя заключается в определении конструктивных размеров электродов и величины межэлектродного расстояния для требуемого нагрева определенной токопроводящей среды. Расчет конструкции многозонного проточного электродного нагревателя усложняется при трех и более зонах нагрева. Это связано с тем, что перераспределение напряжений на зонах нагрева зависит от температуры обрабатываемой среды на этих зонах. А температура, на каждом элементарном участке зоны нагрева в свою очередь зависит и от напряжения на конкретной зоне нагрева. Для определения температуры и напряжения на каждом элементарном участке необходимо решать систему уравнений связывающую распределение температуры по длине электродного нагревателя и перераспределение напряжений на его зонах нагрева. Эту задачу можно решить

используя возможности электронных таблиц Excel. Для примера рассмотрим расчет трехзонного электродного нагревателя с постоянным межэлектродным расстоянием и шириной электродов на всех зонах нагрева.

Расчет начинаем с определения значения тока нагревателя:

$$I = C_p \cdot G \cdot (\theta_{\text{вых}} - \theta_{\text{вх}}) / (\eta \cdot U), \quad (1)$$

где C_p – удельная теплоемкость обрабатываемой среды, Дж/(кг·°C); G – массовый расход обрабатываемой среды, кг/сек; $\theta_{\text{вх}}$ – температура обрабатываемой среды на входе в электродный нагреватель, °C; $\theta_{\text{вых}}$ – температура обрабатываемой среды на выходе из электродного нагревателя, °C; U – напряжение питания, В; η – коэффициент полезного действия, о.е.

Затем определяем удельное сопротивление нагреваемой среды на входе и выходе из электродного нагревателя по формуле:

$$\rho t = 1 / (\gamma_{20} \cdot (1 + \alpha_n \cdot (\theta - 20))), \quad (2)$$

где α_n – температурный коэффициент проводимости, 1/°C; γ_{20} – удельная проводимость обрабатываемой среды См/м.

Рассчитываем межэлектродное расстояние по значениям удельного сопротивления на входе и на выходе из электродного нагревателя:

$$H = \frac{K_3 \cdot U}{J_{\text{доп}} \cdot \rho t(\theta_c)}, \quad (3)$$

где $J_{\text{доп}}$ – допустимая плотность тока А/м²; K_3 – коэффициент запаса, о.е.

После расчета межэлектродного расстояния на входе и выходе электронагревателя, выбираем большее значение. По значению межэлектродного расстояния принимаем ширину электродов Π и начальное значение длины электродов L_1, L_2, L_3 на всех зонах нагрева. С учетом выбранного количества секций n на каждой зоне нагрева рассчитываем величину шага расчета для каждой из трех зон нагревателя:

$$x_1 = L_1 / n; \quad 4$$

$$x_1 = L_1 / n; \quad 5$$

$$x_1 = L_1 / n. \quad 6$$

секции нагревателя равным значению температуры на входе:

$$\theta_i = \theta_{ex}. \quad (7)$$

Рассчитываем значение удельного сопротивления на первой расчетной секции нагревателя:

$$\rho t = 1 / (\gamma_{20} \cdot (1 + \alpha_n \cdot (\theta_i - 20))). \quad (8)$$

Рассчитываем значение сопротивления первой расчетной секции нагревателя:

$$Rs_1 = \frac{\rho t \cdot H}{\Pi \cdot \Delta x_1}. \quad (9)$$

Принимаем начальное значение сопротивления первой зоны нагрева равным значению сопротивления первой расчетной секции нагревателя и определяем начальное значение напряжения на первой зоне нагрева:

$$U_{1..3} = \frac{U}{K_{зон}}. \quad (10)$$

Рассчитываем значение температуры на первой секции нагрева:

$$\theta_{ii} = \theta_i + \Delta x_1 \frac{U_1^2 \cdot \Pi \cdot \eta}{\rho t \cdot H \cdot Cp \cdot G}. \quad (11)$$

Аналогично рассчитываем удельное сопротивление и сопротивления секции для второй секции нагревателя. Рассчитываем значение сопротивления 1-й зоны нагрева электродного нагревателя с учетом сопротивления первой секции нагревателя:

$$R_1 = \frac{Rs_{i+1} \cdot Rs_i}{Rs_{i+1} + Rs_i}. \quad (12)$$

Принимаем значение температуры на входе второй расчетной секции нагревателя равным значению температуры на выходе первой расчетной секции нагревателя:

$$\theta_i = \theta_{ii}. \quad (13)$$

Аналогично рассчитываем температуру на второй секции нагревателя. По такой же методике проводим расчет для всех секций первой зоны нагревателя. Используя приведенные формулы рассчитываем распределение температур на второй и третьей зонах нагревателя, учитывая при этом, что температура на входе зоны нагрева принимается равной температуре на выходе предыдущей расчетной зоны.

Рассчитываем уточняющие значения напряжений для всех трех зон электродного нагревателя:

$$U_1 = I \cdot R_1; \quad (14)$$

$$U_2 = I \cdot R_2; \quad (15)$$

$$U_3 = I \cdot R_3. \quad (16)$$

Рассчитываем суммарные величины для начальных и уточняющих значений напряжений на зонах нагрев, а так же уточняющее значение тока электродного нагревателя по формуле:

$$I_y = U / (R_1 + R_2 + R_3). \quad (17)$$

Рассчитываем сумму квадратов разностей напряжений и токов, для этого суммируем: квадраты разностей начальных и уточняющих напряжений на всех зонах нагрева, квадрат разности суммарных величин начальных и уточняющих значений напряжений, и квадрат разности тока и уточняющего значения тока электродного нагревателя.

Для уточнения значений длин электродов нагревателя и напряжений на его зонах открываем *“Поиск решения”* (раздел *«Сервис»* главного меню MS Office 1997-2003 или вкладка *«Данные»* на ленте MS Office 2007-2010) формируем условие поиска (минимум целевой функции суммы квадратов разностей напряжений и токов) и параметры поиска (длины электродов нагревателя и напряжения на его зонах). После чего проводим запуск на выполнение.

В результате минимизации разности напряжений и токов нагревателя мы получаем длины зон нагревателя и напряжение на каждой из зон нагрева при которых нагреватель обеспечивает нагрев от заданной температуры на входе в электродный нагреватель до требуемой температуры на выходе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рутковский, И.Г. Применение электродных нагревательных установок для снижения концентрации акриламида в обрабатываемой среде / И.Г. Рутковский // Материалы Международной научно-практической конференции “Переработка и управление каче-

ством сельскохозяйственной продукции”./ БГАТУ – Мн., 2013. – С. 308–312.

2. Герасимович, Л.С. Расчет конструктивных параметров секционированных проточных электродных электронагревателей / Л.С. Герасимович, М.А. Прищепов, И.Г. Рутковский // Проблемы развития энергетики и электрификации АПК: Сб. науч. тр. / БелНИИагроэнерго. – Минск, 1994. – С. 35–46.

**Самарин Г.Н., д.т.н., доцент, Павлов А.Н., к.т.н., доцент,
Шибанов А.Ю., аспирант, Галузо Е.В., магистрант
ФГБОУ ВО "Великолукская государственная
сельскохозяйственная академия", г. Великие Луки,
Российская Федерация**

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОСВЕЩЕНИЯ НА ФЕРМЕ

Ключевые слова: освещение, освещенность, микроклимат, продуктивность, расход корма, ферма.

Аннотация: По данным ученых установлено, что при низкой освещенности внутри фермы снижаются привесы КРС на 5% и, наоборот, при высокой освещенности внутри фермы продуктивность КРС увеличивается на 7%.

1 марта 2017 года были проведены исследования освещенности в телятнике корпус № 6 на 150 голов СПК- Колхоз «Красное Знамя» Новосокольнического района Псковской области.

В настоящее время ученые и специалисты в области ветеринарии и зоотехнии выделяют более 22 параметров микроклимата внутри животноводческих помещений, которые оказывают существенное влияние на продуктивность животных (телят). Изучая методы энергосбережения при формировании параметров микроклимата, мы проанализировали информацию научных исследований ученых и специалистов в области ветеринарии и зоогигиены [1, 2, 3, 4] и установили, что при низкой освещенности внутри фермы снижаются привесы телят на 5% и, наоборот, при высокой освещенности внутри фермы продуктивность телят увеличивается на 7%.

Материалы и методы. Исследование освещенности внутри телятника проводилось по общепринятым методикам. Измерения па-

раметров освещенности внутри телятника велись в пяти точках по диагонали объекта на высоте 0,5 и 1,5 м от пола.

Результаты и обсуждение. 1 марта 2017 года были проведены натурные исследования освещенности в телятнике корпус № 6 на 150 голов СПК- Колхоз «Красное Знамя» Новосokolьнического района Псковской области (возрастом от 6 месяцев до 1 года, габаритные размеры телятника $L \times B \times H = 72 \times 21 \times 3,1$ м), который расположен возле деревни «Степановщина» с географическими параметрами - широтой: 56.605236; долготой: 30.129782. В этот день восход солнца был в 07:49, заход солнца – 18:33, зенит в – 13:11, естественное + искусственное освещение: количество окон – 28 шт., ламп накаливания по $P_{\text{л}} = 75 \text{ Вт}$, $n_{\text{л}} = 20$ шт., время работы ламп $t = 24$ ч в сутки.

На основании данных замеров нами построены графики, которые представлены на рисунке 1.

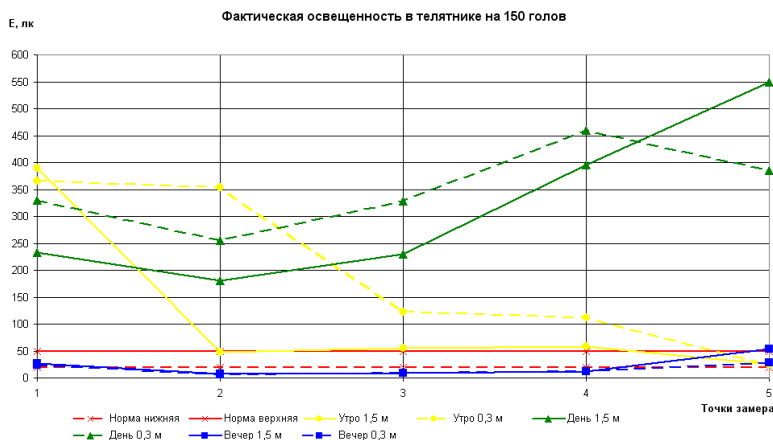


Рисунок 1 – Фактическая освещенность в телятнике на 150 голов

Здесь мы видим, две красные линии – между ними зона нормативной освещенности (20...50 лк), две желтые линии – освещенность в точках замера утром, причем ярко выражена зона падения лучей при восходе солнца (точка 1 – 350...400 лк); две зеленые линии – освещенность в точках замера днем, здесь мы видим, что при смешанном освещении (естественное + искусственное освещение) фактическая освещенность внутри телятника превышает норма-

тивную 20...50 лк в 6...10 раз; две синие линии – освещенность в точках замера вечером, здесь мы видим, что освещенность в точках 2, 3, 4 даже ниже нормативной – это свидетельствует о не достаточности количества и светового потока от светильников.

Выводы. Поэтому целью нашей дальнейшей работы является разработка системы освещения для животноводческих ферм с улучшением критериев работы по энергоэффективности, надежности, электробезопасности и экологичности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волкова Н.А. Биоритмы физиологических функций у коров при различных параметрах микроклимата. Дис...канд. вет. наук. М.: ВНИИ вет. санитарии, 1997.
2. Прокопенко А.А. Научное обоснование и разработка технологии применения оптического излучения для борьбы с вредными аэрозолями в промышленном птицеводстве. Дис...д-ра вет. наук. М.: ВНИИ ветеринарной санитарии, гигиены и экологии, 1997.
3. Иванов Ю.Г. Методы и технические средства контроля и управления технологическими процессами в молочном животноводстве. Дис...д-ра техн. наук. Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина. Москва, 2005.
4. Самарин Г.Н. Энергосберегающая технология формирования микроклимата в животноводческих помещениях. Дис...д-ра техн. наук. Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина. Москва, 2009. 358 с.

Стребков А.А.

Таврический государственный агротехнологический университет, г. Мелитополь, Украина

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПОТЕРЬ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ В ФУНКЦИИ УРОВНЯ ПИТАЮЩЕГО НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ ПЕРЕМЕННОЙ ЗАГРУЗКЕ РАБОЧЕЙ МАШИНЫ

Ключевые слова: асинхронный электродвигатель, потери, напряжение, загрузка, энергосбережение

Аннотация: Рассмотрены потери активной мощности в основных элементах конструкции асинхронного электродвигателя в функции приложенного напряжения. Получены зависимости коэффициента потерь в функции загрузки электродвигателя и питающего напряжения, которые в дальнейшем могут быть использованы для разработки устройства обеспечения энергосберегающего режима работы электродвигателя при его переменной нагрузке.

Согласно Г-образной схемы замещения асинхронного электродвигателя была разработана следующая методика аналитического исследования коэффициента потерь активной мощности в асинхронном электродвигателе, под которым понимается отношение потерь активной мощности к активной мощности на его валу, в функции коэффициента загрузки рабочей машины с учетом уровня питающего напряжения.

1) Задаем значение коэффициента загрузки рабочей машины и уровнем питающего напряжения;

2) Определяем скольжение асинхронного электродвигателя при заданных значениях k_z и k_u , с учетом типа рабочей машины. Например, для рабочей машины с независимой от скорости механической характеристикой ($x=0$) скольжение определяется [1]:

$$s = \frac{k_z}{k_u^2} \cdot s_n \quad (1)$$

3) Определяем силу электрического тока в контуре схемы замещения асинхронного электродвигателя:

$$I' = \frac{k_u U_n}{\sqrt{R_1' + R_2''/s^2 + x_1' + x_2''^2}}, \quad (2)$$

4) Определяем механическую мощность электродвигателя:

$$P_{mx} = 3R_2'' \frac{1-s}{s} I'^2, \quad (3)$$

5) Определяем дополнительные потери активной мощности:

$$\Delta P_{доп} = \frac{I'}{I_n'} \Delta P_{доп,н}, \quad (4)$$

где

$$\Delta P_{доп,н} = 0,005 \frac{P_{2н}}{\eta_n}. \quad (5)$$

6) Определяем потери активной мощности в механической системе электродвигателя:

$$\Delta P_{mp} = \Delta P_{mp.n} \left(\frac{1-s}{1-s_n} \right)^2, \quad (6)$$

где
$$\Delta P_{mp.n} = P_{mx.n} - P_{2n} - \Delta P_{дон.n}. \quad (7)$$

7) Определяем другие суммарные потери активной мощности, используя схему замещения асинхронного электродвигателя:

$$P_{\Sigma n} = 3 R_1' + R_2'' I_0'^2 + 3 R_1 I_0'^2, \quad (8)$$

где
$$I_0 = \frac{\kappa_u U_n}{\sqrt{R_1'^2 + x_1' + x_\mu'^2}}. \quad (9)$$

8) Определяем потери активной мощности в электродвигателе без учета потерь в магнитопроводе:

$$\Delta P' = \Delta P_{\Sigma n} + \Delta P_{mp} + \Delta P_{дон}. \quad (10)$$

9) Определяем потери активной мощности в магнитопроводе:

$$\Delta P_m = \kappa_u^2 (\Delta P_n - \Delta P'). \quad (11)$$

10) Определяем общие потери активной мощности в электродвигателе:

$$\Delta P = \Delta P' + \Delta P_m. \quad (12)$$

11) Определяем механическую мощность на валу двигателя:

$$P_2 = P_{mx} - \Delta P_{mp} - \Delta P_{дон}. \quad (13)$$

12) Определяем коэффициент потерь активной мощности:

$$\kappa_n = \frac{\Delta P}{P_2}. \quad (14)$$

По указанной выше методике, был проведен количественный анализ коэффициента потерь активной мощности в асинхронном электродвигателе. Он проводился на примере электродвигателей типоразмеров 4A100S2Y3, 4A132M2Y3, 4A180M2Y3. Значение кратности питающего напряжения κ_u было принято в пределах от 1,1 до 0,8; значение коэффициента загрузки κ_z от 0 до 1,2. Коэффициент потерь рассчитывался для электродвигателя, работающего со всеми типами рабочих машин.

Анализ полученных зависимостей показал, что коэффициент потерь активной мощности электродвигателя практически не зависит от типа рабочей машины, поэтому скольжение может рассчитываться по более простому выражению для рабочей машины с независимой от скорости механической характеристикой, что существенно упрощает расчеты.

На примере электродвигателя типоразмера 4A100S2У3 было установлено, что коэффициент потерь активной мощности уменьшается при снижении питающего напряжения на диапазоне загрузки до 50%. При загрузке рабочей машины на 50-70% минимальный коэффициент потерь будет при напряжении, близком к номинальному значению. А при загрузке рабочей машины свыше 70% целесообразно повышать напряжение для уменьшения коэффициента потерь.

Таким образом, регулируя уровень питающего напряжения при переменной загрузке рабочей машины, можно обеспечивать энергосберегающий режим работы электродвигателя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вовк, О. Ю. Вплив зниження напруги живлячої мережі на теплове зношення ізоляції асинхронного електродвигуна [Текст] / О. Ю. Вовк, С. О. Квітка, О. С. Квітка // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – 2014. – Вип. 153. – С. 79–81.

Стручаев Н.И., к.т.н., доцент, Постол Ю.А., к.т.н., доцент
Таврический государственный агротехнологический
университет, г. Мелитополь

ТЕРМОСИФОННАЯ СУШИЛКА

Ключевые слова: термосифонная сушильная установка, сушка, охладитель-осушитель, воздухоподогреватель, термосифон.

Аннотация. Подготовка сушильного агента путем снижения его влагосодержания с использованием энергоэффективной термосифонной сушильной установки.

В настоящее время вопрос экономии энергоресурсов является весьма актуальным. Использование в качестве установки для суш-

ки семян, тепловых насосов, в частности термосифонов, имеет важное значение. [1]. Существуют разнообразные конструкции сушильных аппаратов для растительного сырья, выпускаемых мировым машиностроением [1,3], однако они не охватывают всего диапазона изменения параметров сушильного агента.

Основная цель статьи показать возможность использования термосифонов для щадящей сушки семян и последовательность расчета процесса сушки в предлагаемой термосифонной сушильной установке. Энергоэффективная термосифонная сушильная установка работает следующим образом: воздух, через воздушный канал 1 (рис.1), под действием вентилятора 2 охлаждает конденсационную зону первого термосифона, отводя тепловую энергию от охладителя-осушителя, выполненного в виде испарительной зоны первого термосифона 6, тем самым понижая температуру наружного воздуха, подаваемого вентилятором 5 и используемого для сушки. При снижении температуры ниже точки росы, после охладителя-осушителя 6, избыточная влага выпадает в виде конденсата водяных паров и отводится при помощи патрубка для отвода конденсата 7, который расположен в нижней точке воздухопровода 4. Воздух, из которого удалена часть влаги, попадает в воздухоподогреватель 8, выполненный в виде конденсационной зоны второго термосифона. Подогретый в воздухоподогревателе 8 воздух с низкой относительной влажностью поступает по патрубку с диффузором 11 через решётчатую основу 12 в корпус сушильной камеры 13, где, благодаря низкой относительной влажности воздуха, из семян удаляется часть влаги и отводится потоком воздуха. Подвод тепловой энергии в воздухоподогреватель 8 осуществляется вторым термосифоном, конденсационная зона 9 которого нагревается солнечными лучами при помощи гелиоконцентратора - рефлектора 10.

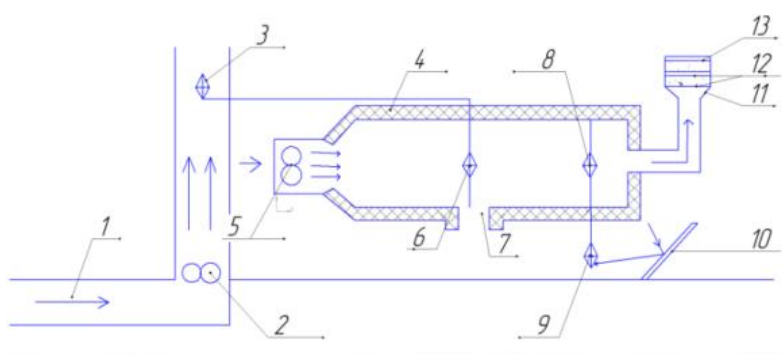


Рис.1. Схема термосифонной сушильной установки: 1 – воздушный канал, 2, 5 – вентиляторы, 3 – конденсационная зона первого термосифона, 4 – общий воздухопровод, 6 – охладитель-осушитель, 7 – патрубок для отвода конденсата, 8 – воздухоподогреватель, 9 – конденсационная зона второго термосифона, 10 – гелио-концентратор - рефлектор, 11 – патрубок с диффузором, 12 – решетчатая основа, 13 – корпус сушильной камеры

Для определения количества воды, которая удаляется из воздуха в дополнительном охладителе-осушителе и расчета уменьшения количества энергии, необходимой для сушки, по сравнению с обычной, для примера задаемся следующими условиями: атмосферный воздух при начальной температуре $t_1 = 20^\circ\text{C}$ и влажности $\varphi_1 = 60$. Дальнейший расчет выполняем с использованием Hd -диаграммы влажного воздуха. Определяем влагосодержание равное $d_1 = 10$ г/кг воздуха и энтальпию $H_1 = 42$ кДж/кг. Из точки росы на линии $\varphi=100\%$ опускаемся до изотермы $t_2=3^\circ\text{C}$, получим точку состояния воздуха на выходе из охладителя-осушителя: $d_2=4,7$ г/кг, $H_2 = 18$ кДж/кг. Уменьшение влагосодержания составит

$$\Delta d = d_1 - d_2 = 10 - 4,7 = 5,3 \text{ г/кг.}$$

Далее, проводим линию $d_1=4,7$ г/кг= const до пересечения с изотермой $t_3=45^\circ\text{C}$, получим точку состояния воздуха на выходе из воздухоподогревателя: $d_3=4,7$ г/кг и $H_3=58$ кДж/кг, влажность воздуха понижается до $\varphi_3 = 7,5\%$. Далее, проводим линию $H_3=58\text{кДж/кг}=\text{const}$ до $\varphi_4 = 95\%$, что характеризует состояние воздуха на выходе из сушильной камеры: $d_4=15$ г/кг, $H_4 = 58$ кДж/кг. Определяем изменение влагосодержания после сушки семян.

$$\Delta d = d_4 - d_3 = 15 - 4,7 = 12,3 \text{ грамм/кг.}$$

Очень важно, что бы пар не сконденсировался в сушилке или на её выходе, поэтому его относительная влажность не должна превышать $\varphi_4 = 95\%$. Аналогично выполняем расчеты для процесса сушки в сушилках без предварительного осушения воздуха.

Определяем увеличение производительности по отобранной из семян влаги в сушилке с предварительным осушением воздуха по сравнению с обычной сушилкой:

$$k = \frac{d_{\text{новый}} - d_{\text{обычный}}}{d_{\text{новый}}} * 100 = \frac{12,3 - 8}{12,3} * 100 = 35\%$$

Выводы. 1. Предложенная методика может быть использована для практического применения при сушке семян.

2. Увеличение производительности, по отобранной из семян влаги в сушилке с предварительным осушением 35 %.

3. Экономия энергии, затрачиваемой на сушку более 40 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник по теплоснабжению сельскохозяйственных предприятий. Под. ред В.В. Уварова. – М.: Колос, 1983. – 320 с. Селекционные сушильные установки. С. 139...140.
2. Наместников А.Ф. Хранение и переработка овощей, плодов и ягод / А.Ф. Наместников. – М.: Высшая школа, 1972. – 312 с.
3. Скрипников Ю.Г. Инновационные технологии сушки растительного сырья / Ю.Г. Скрипников, М.А. Митрохин, Ю.В. Родионов и др. // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – №3(41). – 2012. – С. 371-376.

Цубанов И.А., Цубанова И.А.

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

РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТА ВЛАГОВЫПАДЕНИЯ В КОЖУХОТРУБЧАТЫХ ТЕПЛОУТИЛИЗАТОРАХ

Ключевые слова: коэффициент влаговываждения, тепловой расчет, коэффициент эффективности.

Аннотация. Предложен метод расчета коэффициента влаговыпадения в кожухотрубчатых теплоутилизаторах в зависимости от теплового и влажностного режима работы.

Для получения достоверных результатов при проведении теплового расчета кожухотрубчатых теплоутилизаторов необходимо учитывать выпадение конденсата на теплообменной поверхности со стороны вытяжного воздуха путем введения в расчетное уравнение конвективного теплообмена коэффициента влаговыпадения.

Коэффициент влаговыпадения во многом определяет тепловой режим теплоутилизатора. От его значения зависят конечные параметры вытяжного воздуха и тепловая мощность теплообменника.

Расчет в условиях «мокрого» теплообмена затруднен наличием одновременно протекающих процессов тепло- и массообмена. Кроме того, проблема усугубляется непостоянством температуры поверхности теплообмена и неопределенностью «мокрой» поверхностью труб.

Из-за сложности расчета массообмена на поверхности образующейся пленки воды, общепринято задаваться коэффициентом влаговыпадения в начале расчета. Недостатком данного метода является возможное несоответствие принятого значения коэффициента влаговыпадения и полученных в результате теплового расчета конечных параметров вытяжного воздуха, что приводит к необходимости изменить значение коэффициента влаговыпадения и повторить расчет.

Предложенный метод имеет существенные преимущества при проектировании кожухотрубчатых теплоутилизаторов. Метод основан на совместном решении уравнений теплового баланса, теплопередачи и эффективности. Решение системы уравнений позволяет определить действительное значение коэффициента влаговыпадения, которое обеспечит дальнейшее соответствие с конечными параметрами вытяжного воздуха.

Исходными данными к расчету являются режимные и геометрические параметры: массовые расходы, начальные температуры и скорости приточного и вытяжного воздуха, диаметр, длина и коэффициент загрязнения труб.

В систему входят уравнения для определения:

- числа единиц переноса

$$N = 9,2 \frac{\mu_{\xi}^{0,64} w_2^{0,216} H}{c_{p2} \rho_1 w_1^{0,488} d^{1,272}}, \quad (1)$$

где μ – коэффициент загрязнения труб;

ξ – коэффициент влаговываждения (принять от 1,5 до 3);

w_2 – скорость приточного воздуха в самом узком сечении
межтрубного пространства, м/с;

H – рабочая высота (длина) труб, м;

c_{p2} – удельная теплоемкость приточного воздуха, кДж/(кг·°C);

ρ_1 – плотность вытяжного воздуха, кг/м³;

w_1 – скорость вытяжного воздуха в трубном пучке, м/с;

d – внутренний диаметр труб, м;

- отношения водяных эквивалентов

$$\omega = W_{\min} / W_{\max}, \quad (2)$$

где $W_{\min}$ и $W_{\max}$ – наименьший и наибольший водяной эквивалент

из W_1 и W_2 , Вт/°C;

- коэффициента эффективности

$$\varepsilon = 1 - \exp(-\Gamma W_{\max} / W_{\min}), \quad (3)$$

где Γ – характерный параметр:

$$\Gamma = 1 - \exp(-N\omega);$$

- тепловой мощности теплоутилизатора, кВт

$$\Phi = \varepsilon W_{\min} (t'_1 - t'_2) \cdot 10^{-3}, \quad (4)$$

где t'_1 и t'_2 – начальные температуры вытяжного и приточного воз-
духа, °C;

- конечной энтальпии вытяжного воздуха, кДж/кг

$$h''_1 = h'_1 - \frac{\Phi}{m_{t1}}, \quad (5)$$

где h'_1 – начальная энтальпия вытяжного воздуха, кДж/кг;

m_{t1} – массовый расход вытяжного воздуха, кг/с;

- коэффициента влаговываждения

$$\xi = \frac{h'_1 - h''_1}{c_{p1} (t'_1 - t''_1)}, \quad (6)$$

где c_{p1} – удельная теплоемкость вытяжного воздуха, кДж/(кг·°С);

t_1'' – конечная температура вытяжного воздуха, °С.

В диапазоне значений h_1'' от 9 до 30 кДж/кг предложена зависимость

$$t_1'' = 0,513h_1'' - 4,85.$$

Решение данной системы в принципе не исключает метод последовательного приближения, однако практический опыт показывает, что обычно необходимость в повторном расчете отпадает. Возможное отклонение принятого значения ξ от действительного сглаживается степенью 0,64 в уравнении (1) и влияние этой погрешности в дальнейших расчетах оказывается совсем малым.

Цубанов И.А., Цубанова И.А.

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

ПОВЕРОЧНЫЙ ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ КОЖУХОТРУБЧАТЫХ ТЕПЛОУТИЛИЗАТОРОВ

Ключевые слова: отношение коэффициентов теплоотдачи, коэффициент теплопередачи, число единиц переноса.

Аннотация. Предложен алгоритм выполнения поверочного теплового расчета кожухотрубчатых теплоутилизаторов в зависимости от геометрически и режимных параметров.

Исходными данными к поверочному расчету кожухотрубчатых теплоутилизаторов в системах вентиляции являются:

- конструктивные размеры, компоновка и технические характеристики теплоутилизатора;
- объемный расход вытяжного воздуха L , м³/ч, при плотности воздуха $\rho = 1,2$ кг/м³;

- начальные параметры вытяжного воздуха: температура t'_1 , °C, относительная влажность φ , %, энтальпия h'_1 , кДж/кг, температура точки росы t_p , °C;

- начальная температура приточного воздуха t'_2 , °C.

Расчет выполняют при условии равенства массовых расходов приточного и вытяжного воздуха в следующей последовательности.

Принимают в первом приближении:

- коэффициент эффективности $\varepsilon = 0,5$;

- коэффициент влаговываждения $\xi = 1,5$.

Находят предварительно:

- отношение водяных эквивалентов

$$\omega = 0,96 / \xi;$$

- конечную температуру вытяжного воздуха

$$t''_1 = t'_1 - \omega \varepsilon (t'_1 - t'_2);$$

- конечную температуру приточного воздуха

$$t''_2 = t'_2 + \varepsilon (t'_1 - t'_2).$$

Принимают теплофизические параметры воздуха при средних температурах воздушных потоков в теплоутилизаторе.

Рассчитывают скорость и число Рейнольдса для приточного и вытяжного воздуха, используя конструктивные размеры теплоутилизатора и теплофизические параметры соответствующего потока воздуха.

Находят отношение коэффициентов теплоотдачи со стороны приточного и вытяжного воздуха

$$\frac{\alpha_2}{\alpha_1} = \frac{w_2^{0,6}}{\xi c_\alpha w_1^{1,165} d^{0,565}}, \quad (1)$$

где w_2 – скорость приточного воздуха в самом узком сечении межтрубного пространства, м/с;

c_α – коэффициент переходного режима;

w_1 – скорость вытяжного воздуха в трубном пучке, м/с;

d – внутренний диаметр труб, м;

При α_2 / α_1 от 1 до 3, Re_1 от 5000 до $5 \cdot 10^6$ и Re_2 от 1000 до $1 \cdot 10^6$ следует в условиях «сухого» теплообмена использовать для определения коэффициента теплопередачи k , Вт/(м²·°C), уравнение

$$k = 2,3 \mu \alpha^{0,64} w_1^{0,512} w_2^{0,216} d^{-0,272}, \quad (2)$$

где μ – коэффициент загрязнения труб.

При невыполнении вышеприведенных условий следует пользоваться традиционными методами расчета коэффициента теплопередачи.

Приточный воздух характеризуется меньшим значением водяного эквивалента $W_{\min}$, кВт/°С. При его расчете принимают удельную теплоемкость воздуха $c_p = 1,01$ кДж/(кг·°С):

$$W_{\min} = c_p \rho L / 3600.$$

Определяют число единиц переноса при «сухом» теплообмене

$$N = kA \cdot 10^{-3} / W_{\min}, \quad (3)$$

где A – площадь поверхности теплообмена теплоутилизатора, м².

Устанавливают вид теплообмена со стороны вытяжного воздуха.

С этой целью находят:

- относительную избыточную температуру $i_2 = \frac{t'_1 - t_p}{t'_1 - t'_2};$

- критическое значение этого параметра, характеризующее переход от «сухого» теплообмена к «мокрому»:

$$i_2^{\text{кр}} = 0,62 - 0,541 \exp -1,17N.$$

Последнее уравнение справедливо при значениях N от 0,3 до 1,5.

Если $i_2 < i_2^{\text{кр}}$, то происходит «мокрый» теплообмен и в расчете необходимо учесть выпадение конденсата из вытяжного воздуха.

В этих условиях конечную температуру вытяжного воздуха определяют по уравнению

$$t''_1 = t''_1 - i_1 \quad t'_1 - t_p, \quad (4)$$

где θ_1 – относительная избыточная температура, определяющая температуру вытяжного воздуха на выходе теплоутилизатора:

$$i_1 = [0,637 - 0,538 \exp -1,5N] \theta_2^{-0,805}.$$

Конечную энтальпию вытяжного воздуха находят как энтальпию насыщенного влажного воздуха при найденной температуре t''_1 .

При $i_2 \geq i_2^{\text{кр}}$ конечные параметры вытяжного воздуха определяют для условий «сухого» теплообмена по общепринятой методике.

Расчет заканчивают определением тепловой мощности теплоутилизатора и уточнением коэффициентов эффективности и влаговыпадения.

Челомбитько М.А., к.с.-х.н., доцент, Ковтик П.В., студент
Белорусский государственный аграрный технический университет

ВЫСОКОЕ ДАВЛЕНИЕ (НРР) – ИННОВАЦИОННЫЙ МЕТОД НЕТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

Ключевые слова: пищевая промышленность, нетепловые методы обработки, высокое давление.

Аннотация. Нетермические методы обработки пищевых продуктов известны как минимальные методы обработки, сохраняющие пищевые и сенсорные характеристики продуктов питания, в отличие от тепловых методов обработки, а также продлевающие сроки их годности за счет ингибирования или уничтожения микроорганизмов. Одним из таких методов является метод высокого давления.

К нетепловым методам обработки пищевых продуктов относятся: высокое давление (НРР), ультразвук, импульсный свет, иррадиация, импульсные электрические поля, ультрафиолетовая обработка, холодная плазма, суперкритический диоксид углерода, микроволновое и радиочастотное нагревание.

Одной из наиболее удачных разработок на сегодняшний день является технология обработки высоким давлением (НРР - High pressure processing). При этом способе пища подвергается давлению между 100 и 1000 МПа в течение минуты. Для сравнения, атмосферное давление обычно составляет около 0,1 МПа, а давление в самой глубокой точке океана составляет около 110 МПа. Высокое давление (НРР) убивает большинство микроорганизмов, повреждая клеточные мембраны, но сохраняя сенсорные и пищевые характеристики пищевого продукта. НРР была впервые использована в

1899 году в Соединенных Штатах, однако в те дни оборудование было не очень надежным, и исследования были прекращены. Опять к этим исследованиям вернулись в 1990 с целью разработки лучшего оборудования.

Процесс НРР включает погружение упакованной пищи в жидкость, а затем подвергая ее давлению равномерно по всему объему. Процесс НРР известен как нетепловой процесс. Однако когда давление подается на продукты питания, температура в них возрастает из-за адиабатического нагрева. Это порождается плотностью воды и пищевых компонентов. Температура повышается приблизительно на 3 °C на 100 МПа. Повышение может быть больше, если продукты содержат жир. При разгерметизации температура падает из-за адиабатического охлаждения. Основные принципы технологии высокого давления определяют поведение продуктов питания во время обработки их давлением. Эти основные принципы включают:

- Принцип Ле Шателье: любая реакция, приводящая к уменьшению объема, усиливается, тогда как реакции, которые увеличивают объем, подавляются.

- Принцип микроскопического упорядочения: при температуре контакта, если давление увеличивается, степень упорядочения молекул данного вещества также возрастает.

- Изостатический принцип: постоянное давление подается на продукты питания со всех сторон.

Давление сжимает продукты, но как только действие давления прекращается, продукты возвращаются к их первоначальной форме.

Если пищевой продукт содержит достаточно влаги внутри себя, давление не будет вызывать повреждения на макроскопическом уровне при условии равномерного распределения давления.

Оборудование для обработки высоким давлением довольно громоздко и имеет следующие основные компоненты:

- сосуд высокого давления вместе с его концевыми затворами;
- система формирования давления;
- устройство контроля температуры;
- система обработки материалов;
- система сбора данных, а также средства контроля и некоторые приборы.

Эта система может быть организована двумя способами: либо пакетный процесс для упакованных продуктов или полунепрерывный процесс, в котором можно обрабатывать неупакованные жидкие продукты.

Сосуд высокого давления является очень важным компонентом этого оборудования. Есть немало аспектов, которые следует учитывать при проектировании сосуда. Например, он должен работать стабильно в безопасном режиме. В сосуде имеются жидкости, проводящие давление, которые позволяют давлению равномерно распределяться по образцу продукта. Продукты, подлежащие обработке, должны быть гибко упакованы, когда они загружаются в камеру высокого давления. Одноразовый вкладыш вводится в цилиндр из нержавеющей стали, а фильтрованная вода используется как изостатическая компрессионная жидкость. Сосуды высокого давления должны быть герметизированы. Как только процесс начинается, давление генерируется прямо или косвенно путем сжатия. В прямом методе жидкость сжимается в сосуде, перемещая поршень, используя гидравлическое давление, тем самым уменьшая объем. В способе косвенного сжатия усилитель направляет жидкость непосредственно в емкость до тех пор, пока желаемое давление не будет достигнуто.

Будущие исследования в области нетермической обработки пищевых продуктов должны учитывать следующие моменты:

- какое влияние оказывают нетепловые технологии обработки пищевых продуктов на окружающую среду;
- сочетание использования новых технологий термической и нетепловой обработки пищевых продуктов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Tewari, G., Jayas, D., & Holley, R. High pressure processing of foods: An overview. *Science Aliments*. 1999. - 19, 619-661.
2. Fellows, P. Food processing technologies: Principles and practices (3rd ed ed.). 2009. Boca Raton, FL: CRC Press.
3. Blany, C., & Masson, P. Effects of high pressure on proteins. *Food Reviews International*. 1993. - 9(4), 611-628.
4. Crawford, Y. J., Murano E, A., Olson, D., & Shenoy, k. (1996). Use of high hydrostatic pressure and irradiation to eliminate clostridium sporogenes in chicken breast. *Journal of Food Protection*. 1996. - 59, 711-715.

5. Mertens, B. New methods of food preservation. 1995. - (G. Gould, Ed.) New York: Blackie Academic and Professional.

Чигарев О.Ю., к.т.н.

**Институт технологий и природопользования, г. Фаленты,
Республика Польша**

Прищепова Е.М., ст. преподаватель

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

К ВОПРОСУ О ВЛИЯНИИ СКОРОСТИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЦЕССА ПЛЮЩЕНИЯ

Ключевые слова: скорость деформирования, плющение, сила давления, зерноплющилка.

Аннотация. Исследуется упруговязкая модель зерна пшеницы при деформировании вальцами плющилки. Приведены выражения для определения вязкости зерна, силовых характеристик напряженного состояния.

Процесс измельчения зерна в межвальцовом пространстве определяется величиной и соотношением сдвигающих и сжимающих усилий, а также скоростью его деформирования, при этом эффективность измельчения возрастает с увеличением сдвигающих усилий и скорости деформирования.

Для подтверждения сказанного проведено изучение деформации зерновки пшеницы в условиях сжимаемости плоскими штампами и вальцами [1]. Из работы Романьского [2] вытекает, что на процесс деформирования зерна в большей степени влияют такие механические свойства как упругость и вязкость. Упругость связана с первым этапом механического нагружения зерна, а вязкость с последующими этапами возрастания нагрузки. Исследования [3] плющения зерна на прочностной машине Инстрон показали, что данный процесс можно описать обобщенной моделью Кельвина-Фойгта.

Для теоретических расчетов параметров процесса плющения зерновки рассмотрим механизм, показанный на рисунке 1, который является упрощенной схемой производственных зерноплющилок.

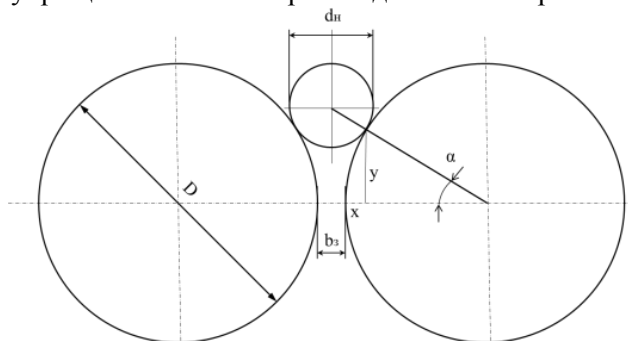


Рисунок 1 Упрощенная схема зерноплющилки

Работа, затраченная на деформирование зерна

$$dA = \sigma d\varepsilon, \quad (1)$$

где A – удельная работа деформации или работа отнесенная к объему зерновки, Па.

Деформирование различных точек зерновки по горизонтали происходит по траектории жесткого обода вальца. Абсолютная деформация точек зерновки по горизонтали будет

$$x = r(1 - \cos \alpha),$$

где α – угол деформации зерновки, рад; $r = D/2$ – радиус вальца, м.

Абсолютная скорость деформирования точек зерновки в этом направлении

$$V_x = r\omega \sin \alpha, \quad (2)$$

где ω – угловая скорость вальца, c^{-1} .

Относительная деформация

$$\varepsilon_x = \frac{2r(1 - \cos \alpha)}{d_n}. \quad (3)$$

Учитывая, что угол деформации зерновки $\alpha = \omega t$, то скорость деформирования

$$\frac{d\varepsilon_x}{dt} = \frac{2r\omega \sin \alpha}{d_n}. \quad (4)$$

Связь между напряжениями и деформациями в зоне контакта

$$\sigma = \varepsilon_x E + \gamma \varepsilon_x \frac{d\varepsilon_x}{dt}. \quad (5)$$

Максимальная граница деформирования зерна вдоль оси y будет
 $y = r \sin \alpha$. (6)

Если предположить, что пятном контакта будет окружность, то площадь пятна определится

$$s_y = \pi \frac{y^2}{4} = \pi \frac{r^2 \sin^2 \alpha}{4}. \quad (7)$$

Силы давления, распределенные вдоль контакта

$$P_{zg} = \int_0^{\varepsilon_x} \sigma \cdot s_y \cdot d\varepsilon_x. \quad (8)$$

Если считать скорость деформирования зерна постоянной $\frac{d\varepsilon_x}{dt} = v_x = \text{const}$, тогда

$$P_{zg} = \int_0^{\varepsilon_x} (\varepsilon_x E + \gamma v_x \varepsilon_x) \frac{\pi}{4} r^2 \sin^2 \alpha d\varepsilon_x = \int_0^{\varepsilon_x} \varepsilon_x (E + \gamma v_x) \frac{\pi}{4} r^2 \sin^2 \alpha d\varepsilon_x. \quad (9)$$

После интегрирования получим

$$P_{zg} = \frac{\pi}{8} r^2 \sin^2 \alpha \varepsilon_x^2 (E + \gamma v_x). \quad (10)$$

Из проведенных выводов очевидно, что наилучшая эффективность плющения (сжатия) зерна будет при минимальной удельной работе деформации A (выражение 1), а она будет наименьшей при минимальном напряжении σ в зерновке (выражение 5) и соответственно силе давления P_{zg} (выражение 10). Детальный анализ полученного выражения 10 показывает, что величина силы давления будет определяться соотношением изменяющихся параметров выражения $E + \gamma \cdot v_x$, так как остальные параметры в выражении можно принять постоянными. Использование зависимостей коэффициента вязкости от изменения коэффициента упругости зерновки пшеницы при разной скорости деформации показывает, что для одного и того же значения коэффициента упругости зерновки, при изменении скорости деформации в сторону увеличения коэффициента вязкости будет уменьшаться. Значит, произведение их значений будет иметь минимум при определенных значениях скорости

деформации и коэффициента вязкости и изменяться с изменением коэффициента упругости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чигарев, О.Ю. Некоторые подходы в вопросах деформирования зерна./О.Ю. Чигарев, Е.М. Прищепова // Агропанорама. – 2013.– №6.– С.18-20.
2. Romanski, L Analiza i modelowanie procesu zgniatania ziarna pszenicy. Zeszyty Naukowe AR Wroclaw. Nr 494. Rozprawy CCXX. ISSN 0867-7964; 0867-1427, 2004. – S.108.
3. Chigrev, O. Romanski, L., 2009. Opredelenije dinamiczeskich i procnostnyh svojstw pluscenija zerna. St. 244-248 Miedzunaronaia nauczno-prakticzeskaja konferenja/BGATU, Minsk.

**Шатковский А.И., к.т.н., Петрович В.Л., ст. преподаватель
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь**

ВЫБОР МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ СРЕДСТВ, ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

Ключевые слова: Энергососбережение, средства измерения расхода, ультразвуковые расходомеры.

Аннотация. Задача нахождения эффективных путей энергосбережения основывается на применении современных контролирующих методов и приборов. В работе приведен анализ средств измерения расхода при выборе расходомера для решения задач энергоаудита.

The task of finding effective ways to save energy is based on application of modern controlling techniques and devices. In an analysis of work flow tools when choosing a meter for solving problems of energy

Решение задачи энергососбережения невозможно эффективно осуществить без надёжной, качественной метрологической базы. Правильный, обоснованный выбор средств измерений для контроля параметров технологических процессов является определя-

ющим фактором при анализе качественных и количественных характеристик.

Насколько тщательным должен быть подход при выборе средств измерений можно показать на примере выбора средств измерений расхода.

В настоящее время основная масса приборов этой группы представлена приборами переменного перепада давления, переменного уровня, приборами обтекания, а так же тахометрическими, электромагнитными, вихревыми, тепловыми, акустическими, оптическими, меточными, корреляционными и другими типами расходомеров[1].

Несмотря на постоянное совершенствование методик измерений, и конструкций этих приборов погрешность большинства из них находится на уровне нескольких единиц процентов. Объясняется это тем, что они измеряют скорость потока косвенными методами: по величине давления, уровня, частоты вращения, электродвижущей силе, скорости переноса метки в потоке и поэтому имеют ограничения на уровне точности преобразования расхода в регистрируемую величину.

Кроме того, у большинства расходомеров изменение параметров среды (плотность, вязкость, температура) существенно сказываются на результатах измерений. Более того, сам процесс измерения оказывает влияние на контролируемую среду изменяя ее параметры, так как первичные преобразователи расходомеров содержат в измерительном сечении конструктивные элементы вызывающие гидравлическое сопротивление, требующее затраты дополнительной энергии на его преодоление.

Применение подобных расходомеров для проведения оперативного учёта, например при энергоаудите, весьма трудоёмко и затратно, поскольку связано с необходимостью врезки их в контролируемый трубопровод, установки спрямлённых участков или струевыпрямителей.

В то же время, некоторые типы расходомеров, например, ультразвуковые расходомеры, измеряют скорость потока по изменению скорости распространения ультразвуковой волны, т.е. измеряют непосредственно контролируемую физическую величину - скорость. Следовательно, предельные метрологические возможности ультразвуковых методов измерений потенциально выше и до-

стижимая ими точность измерений определяется лишь методикой и совершенством приборного решения.

Следует отметить, что используемая в настоящее время терминология - «ультразвуковой расходомер» не всегда корректно отражает метод измерений. В ряде случаев ультразвук используется также для регистрации вторичных признаков скорости потока таких как: частота вихреобразования, создание и регистрация метки в потоке, контроль эхолокационной картины потока. Поэтому при выборе ультразвукового расходомера, необходимо установить к какому методу прямому или косвенному относится выбранный тип расходомера.

Кроме высоких метрологических характеристик ультразвуковые расходомеры обладают рядом уникальных эксплуатационных характеристик.

Ультразвуковые расходомеры позволяют контролировать расход в очень широком температурном диапазоне от температуры расплавленных металлов до температуры криогенных сред.

Динамический диапазон измеряемых значений расходов ультразвуковых расходомеров, достигает десятков тысяч, ограничиваясь сверху величиной скорости распространения ультразвука и, это при том, что динамический диапазон наиболее широко используемых дифманометрических и тахометрических расходомеров, в пределах паспортной точности, не превышает десяти единиц.

Измерительное сечение расходомера не оказывает сопротивление потоку контролируемой среды, поскольку в нём отсутствуют конструктивные элементы, имеющиеся у других типов расходомеров, такие как: крыльчатка, сужающие устройства, устройства вихреобразования. Более того, первичный преобразователь может выполняться с накладными преобразователями, т.е. отсутствует необходимость врезаться в трубопровод, что является определяющим фактором при проведении оперативных измерений например, при энергоаудите.

Кроме того, ультразвуковой расходомер наряду с измерением расхода может контролировать и скорость ультразвука, которая несёт информацию о физико-химическом состоянии контролируемой среды, позволяя, таким образом, одновременно оценивать и эффективность технологического процесса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кремлёвский П. П. Расходомеры и счётчики количества: Справочник.—4-е изд., перераб. и доп. — Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1989. — 701 с.: ил.

Янко М.В.

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

ОЦЕНКА АНТИМИКРОБНОЙ АКТИВНОСТИ ГИПОХЛОРИТА НАТРИЯ

Санитарная обработка — важное звено изготовления качественной продукции, связанное с выбором дезинфицирующего средства, которое влияет на себестоимость производства.

Цель работы — определить антимикробную активность гипохлорита натрия, как одного из достаточно распространенных и недорогих дезинфектантов.

Гипохлорит натрия получен на установке, описанной нами в [1]. Антимикробное действие оценено в РУП «Институте мясо-молочной промышленности».

Исследовали гипохлорит натрия с массовой концентрацией хлора 1,15...6,84 г/л на четырех тест культурах: *Ps. aeruginosa* ATCC 15442, *E.coli* ATCC 11229, *St.aureus* ATCC 6538 *C.albicans* ATCC 10231; в следующих питательных средах: мясо-пептонный агар, среда Эндо, среда Сабуро, мясо-пептонный агар с фурагином, желточно-солевой агар; по методике испытаний: «Методы проверки и оценки антимикробной активности дезинфицирующих и антисептических средств». Инструкция по применению. Регистрационный № 11-20-204-2003. Утв.22 дек.2003г.

По результату данной проверки, составлен Протокол исследований антимикробной активности образцов водного раствора гипохлорита натрия № 20/1/1, в котором сказано, что образцы имеют достаточно высокий уровень ($RF > 5 \log$) антимикробной активности в отношении типовых тест-культур и соответствует требованиям ТНПА, которые предъявляются к обеззараживающим и дезинфицирующим средствам.

Образцы соответствуют требованиям, предъявляемым к обеззараживающим средствам. По результатам исследования оптимальное значение массовой концентрацией активного хлора в растворе для данной технологии 6 г/л. Исходный раствор с массовой концентрацией поваренной соли 40 г/л. Количество электричества которое необходимо пропустить через раствор – 6 кКл/л.

Технико-экономический расчет показал, что годовые издержки на санитарную обработку МТФ на 400 голов КРС при использовании гипохлорита натрия вместо водного раствора хлорамина можно снизить примерно на 40%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Янко, М. В. Электролизная установка для приготовления обеззараживающего раствора / М.В. Янко // Энергосбережение – важнейшее условие инновационного развития АПК : сборник научных статей Международной научно–технической конференции, Минск, 24-25 ноября 2015 г. / БГАТУ ; под ред. И. И. Иванова [и др.]. — Минск, 2015. — 412с.

СЕКЦИЯ 4 АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В АПК

Азизова Г.А., бакалавр, Захирова Ш.М., преподаватель,
Даминова Ю.С., преподаватель, Рахматов М.И., к.п.н., доц.,
*«Каршинский государственный университет», г. Карши,
Узбекистан*

АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНО- ВЛАЖНОСТНОГО РЕЖИМА ГЕЛИОУСТАНОВКИ

Ключевые слова: гелиоустановка, температурный режим.

Аннотация: Показана возможность аппроксимации сложных передаточных функций более простыми, удобными для практических целей.

Создание и реализации эффективных систем автоматического управления и регулирования температурного режима гелиоустановки требует решения вопроса разработки математической модели процесса тепло-и массообмена происходящего в сооружении как объекта автоматического управления. Известно [1], что гелиотеплица является сложным объектом с распределенными параметрами, в котором одновременно протекают теплообменные и массообменные процессы.

Определение динамических характеристик объекта может быть достигнуто либо экспериментальным, либо аналитическим методом. Мы выбрали аналитический метод исходя из следующих соображений;

1. Ни в одной из функционирующих и рекомендуемых гелиотеплиц до сих пор нет даже неавтоматизируемых устройств для поддержания необходимого микроклимата, принудительной вентиляции обогрева. 2. Число типов гелиотепличных построек весьма велика, причем типовые проекта отсутствует (строится преимущественно по индивидуальному заказу) и постройки имеют существенные различия (по конструкциям, по применяемым аккумуляторам тепла и т.д.). Эти различия в значительной мере определяют динамику объекта регулирования. 3. Аналитический метод позволяет получить динамические характеристики разработанной, но

еще не построенной гелиотеплицы, а поэтому можно конструировать регулятор микроклимата одновременно с проектированием сооружения.

Динамические характеристики гелиотеплиц будем находить в форме передаточных функций. Подобная задача впервые применительна к гелиотеплице была решена в [1]. Однако в этой работе во-первых не учитывается такой важный параметр микроклимата как влажность, во-вторых для упрощения вывода и понижения порядка степени дифференциального уравнения описывающего теплообменные процессы гелиотеплицы, рассматривается как двухемкостный объект регулирования температуры. Не учтены такие особенности гелиотеплицы как:

а) гелиотеплица - это сооружение с интенсивным выделением водяных паров, он зависит от внутренней температуры; б) сооружение имеет большую поверхность испарения воды из почвы, поступающей по отношению в микроклимату извне (полив и другие.); в) при анализе динамики температурного режима гелиотеплицы недостаточно учитывать лишь теплоаккумулирующие свойства подпочвенного аккумулятора и внутреннего воздуха, как это принято в работе [1].

Ввиду того, что порядок дифференциального уравнения описывающего температуру воздуха в сооружении, определяется числом теплоаккумулирующих веществ, то порядок уравнения для гелиотеплицы данной конструкции нашего случая должен быть равен шести (если учесть теплоемкость внутреннего воздуха, водяного и подпочвенного аккумулятора тепла, почву, растительного покрова и светопрозрачного ограждения).

При выводе дифференциальных уравнений объекта регулирования примем следующие упрощения:

1. Гелиотеплица является объектом с распределенными параметрами. Но, как показал анализ, ее можно описать дифференциальными уравнениями в обыкновенных производных в сочленении со звеном чистого запаздывания. Так как время по сравнению временем переходного процесса объекта составляет ничтожную долю, то его влиянием (без ущерба для расчета) можно пренебречь ($\tau_i = 5 \div 10$ мин., $t_{ПЕР} = 100 \div 120$ мин.). Кроме того, воздух внутри гелиотеплицы хорошо перемешается, т.е. разностью температур и

относительных влагосодержаний в различных точках пренебрегаем (объект с сосредоточенными параметрами).

2. При теплообмене величина относительного влагосодержания внутреннего воздуха величина постоянная (это соответствует случаю, когда в гелиотеплице работает регулятор относительного влагосодержания воздуха). При массообменном процессе температура внутреннего воздуха принимается неизменной, что соответствует работе регулятора температуры.

В результате такого единого подхода температурно-влажностного режима парагазовой смеси получим процессы изменения температуры и относительной влажности, независимые друг от друга, для которых находятся передаточные функции.

Как было отмечено выше, в сооружении имеют место шесть емкостей способных аккумулировать тепловую энергию. Но во многих практических расчетах энергетического режима гелиотеплиц теплоаккумулирующими способностями светопрозрачного ограждения пренебрегают из-за ее относительно незначительностью по сравнению с другими емкостями сооружения. Мы тоже будем придерживаться этой точки зрения, и исключаем из рассмотрения поглощательную способность тепла светопрозрачных ограждений, тогда в нашем случае в сооружении будут пять емкостей-аккумуляторов тепловой энергии, и соответственно при составлении дифференциального уравнения сооружения (гелиотеплицы) в целом для каждой из них составляем уравнения теплообмена. При этом учитываем следующие факторы:

а) поступление тепла за счет радиации; б) тепловыделение почвы; в) теплопотери через светопрозрачные ограждения; г) теплопотери с рециркулируемым воздухом; д) затраты тепла на испарение влаги с почвы и растительности.

Там же приводится тепловой баланс каждого теплоаккумулирующего элемента. Он включает поступление тепла от внутреннего воздуха, потерю тепла в процессе теплопередачи и аккумулярование тепла водяным и подпочвенным аккумуляторами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Исаев С.М. К вопросу аналитического определения удельного влагосодержания воздуха гелиотеплицы. Сб.научно-теоретической конференции в честь 600-летия Мирзо Улутбека. Карши., 1994 г. Т.4., 28-32 с.

Баранов А.М., Матвеев И.П., к.т.н., доцент
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь

МОДЕЛИРОВАНИЕ СХЕМ УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ AVR

Ключевые слова: моделирование, микроконтроллер, схема управления, виртуальная электронная схема, микросхема.

Аннотация: в работе представлены результаты компьютерного моделирования электронной схемы управления двумя двигателями постоянного тока с возможностью регулирования скорости и направления вращения электродвигателей с использованием микроконтроллера ATmega 328P в составе электронного конструктора Arduino.

Системы автоматизированного управления, как правило, включают электронные схемы с использованием микроконтроллеров различных типов. Однако отладка работы реальных контроллеров оказывается затратной задачей, так как недостаточно только написать программу, необходимо с помощью программатора «прошить» процессор, т.е. записать в него разработанную программу, подключить к выходу контроллера исполнительные устройства и только тогда наглядно увидеть результат. Благодаря компьютерному моделированию решить такую задачу стало проще.

Для проведения компьютерного моделирования была использована программа Proteus v8, с помощью которой можно создать и проверить работу спроектированной электрической схемы с микроконтроллером. То есть можно заранее, виртуально, просмотреть результаты выполненной работы и увидеть возможные ошибки до реализации проекта на физическом устройстве [1].

Сначала создается проект в Proteus. В данном примере приводится проект схемы для управления двумя двигателями постоянного тока с возможностью регулирования скорости и направления вращения электродвигателей.

Особенностью данной схемы является использование, так называемого, электронного конструктора Arduino. Arduino представляет собой инструмент, с помощью которого можно создавать различные электронные устройства. По сути, это настоящая аппаратная

вычислительная платформа универсального предназначения. Она может использоваться как для построения простых схем, так и для реализации довольно сложных проектов.

Плата Ардуино (рис.1) является простым микроконтроллером AVR (в данном случае ATmega 328P), который был прошит бутлоадером и имеет минимально необходимый минимум USB-UART порт. Базируется конструктор на своей аппаратной части, которая представляет собой плату ввода-вывода. Для программирования платы используются языки, которые основаны на C/C++[2].

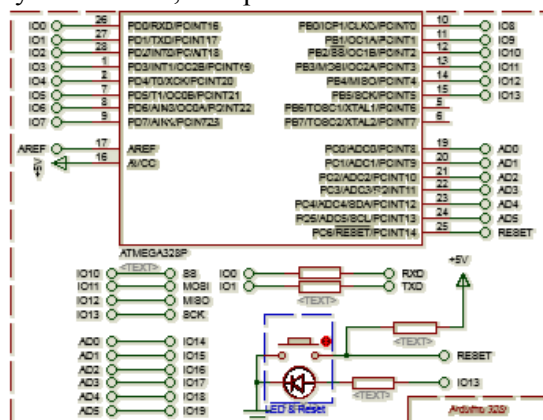


Рис.1. – Плата Ардуино

Обычно готовая программа прошивается на кристалл МК посредством специализированных устройств: программаторов. Но Ардуино не нужен программатор. Написанный код можно загрузить в МК посредством USB-шнура. Достигается это не встроенным уже заранее программатором, а спецпрошивкой – бутлоадером. Бутлоадер является специальной программой, которая запускается сразу после подключения и ждет, будут ли прошивать кристалл.

Для создания проекта необходимо собрать виртуальную электронную схему, выбрав необходимые элементы, и разместить их на выделенном пространстве. В работе используется микроконтроллер AVR фирмы ATMEL типа ATMEGA 328P, к выходным портам которого подключается микросхема L298P, которая представляет собой сдвоенный мостовой драйвер двигателей и предназначена для управления DC и шаговыми двигателями. Одна микросхема L298P способна управлять двумя двигателями и обеспечивает максимальную нагрузку до 2А на каждый двигатель. Двигатели постоянного

тока подключаются уже к выходам микросхемы L298P вместе со светодиодами, которые подают световой сигнал при достижении максимальной скорости вращения.

Контроллер управляет работой электродвигателя постоянного тока, используя широтно-импульсную модуляцию (ШИМ).

Далее проверяется работа собранной схемы в соответствии с разработанной программой. Запускается эмуляция программы, в процессе которой визуально наблюдаем вращение электродвигателей и управление скоростью и направлением вращения в соответствии скважностью импульсов, задаваемых микроконтроллером.

ЛИТЕРАТУРА

1. Матвеев И.П. Методика изучения микроконтроллеров AVR. «Информатизация образования», №2. - 2013. - С.86-95.

2. Электронный ресурс: <http://fb.ru/article/206826/arduino-dlya-nachinayuschih-poshagovyye-instruktsii-programmirovaniye-i-proektyi-arduino-s-chego-nachat>.

Герасимович Л.С., Косько А.Н.
Институт энергетики НАН Беларуси

СТРУКТУРА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ОБЛУЧЕНИЕМ ПОРОСЯТ-ОТЪЕМЫШЕЙ ПО ПОВЕДЕНИЮ ЖИВОТНЫХ

На рисунке 1 представлен общий вид станка дорастивания поросят-отъемышей с системой инфракрасного облучения и интеллектуального управления по поведению животных.

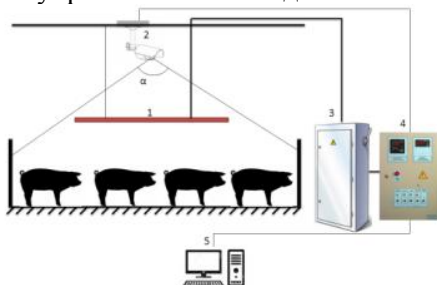


Рисунок 1 – Общий вид станка дорастивания поросят-отъемышей с системой инфракрасного облучения и интеллектуального управления по поведению животных
1 – ИК-излучатели; 2 – видеокамера; 3 – силовой шкаф; 4 – шкаф управления; 5 – компьютер.

Аппаратные средства системы управления, как видно из рисунка, включают интеллектуальную видеокамеру, шкаф управления и автоматизированное рабочее место; программные – специализированную программу, работающую по представленному алгоритму управления.

На рисунке 2 представлена структурная схема системы управления ИК облучением по поведению животных.



Рисунок 2 – Структурная схема системы управления ИК облучением по поведению животных

1 – конвертер интерфейса Ethernet; 2 – сетевой коммутатор; 3 – сервер сбора и обработки данных; 4 – АРМ; 5 – контроллер; 6 – шкаф управления; 7 – ИК излучатель; 8 – видеокамера; 9 – секция группы поросят-отъемышей; 10 – силовой шкаф.

Работа системы управления начинается с получения изображения секции поросят-отъемышей 9 интеллектуальной камерой 8. Над каждым станком располагается отдельная камера. Однако, в общем случае необходимое количество камер не равно числу станков и определяется исходя из геометрических параметров помещения (высоты помещения и площади станка), разрешения и угла обзора камеры.

Полученное камерой изображение по каналам связи передается на сервер 3 по локальной сети Ethernet. Обработка данных в режиме реального времени осуществляется на автоматизированном рабочем месте 4. Данные о состоянии животных сохраняются на сервере 3.

После принятия решения о благоприятности условий содержания животных, управляющий сигнал поступает в шкаф управления 6 и далее к исполнительному рабочему органу – ИК облучателю 7.

Для соединения всех рабочих узлов сети устанавливается коммутатор 2.

С целью согласования форматов данных, используемых микроконтроллером 5 и сетевыми устройствами, устанавливается конвертер интерфейса Ethernet 1.

Через интервал, равный постоянной времени системы, перечисленные операции повторяются. Величина данного интервала определяется инертностью системы, а значение равно времени нагрева кожного покрова и шерсти (то есть тепловой инертности) и также времени афферентного синтеза [1, 2]. Следовательно, повторение перечисленных операций может осуществляться с интервалом от 2 до 5 мин в зависимости от половозрастной группы животных.

Для данной системы управления разработаны технические требования. Предъявляемые требования соответствуют общим требованиям к автоматизированным системам управления [3].

ЛИТЕРАТУРА

1. Биотехнологии интенсивного свиноводства / Г.М. Бажов, В.И. Комлацкий.- М.: Росагропромиздат, 1989. – 269 с.
2. Биотехнология свиноводства / В.С. Смирнов, В.В. Горин, И.П. Шейко.- М.:Ураджай, 1993. – 229с.
3. Межгосударственный стандарт ГОСТ 24.104-85 «Единая система стандартов автоматизированных систем управления. Автоматизированные системы управления. Общие требования», Москва, Стардартинформ, 2009г.

Горустович Т.Г., Чернявская А.С.

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

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Ключевые слова: Автоматизация, производственный процесс, система управления. Automation, production process, control system.

Аннотация: В статье обосновываются преимущества средств автоматизации, позволяющие оперативно решать задачи оптимизации производственно-технологических процессов.

The article proves the advantages of automation tools that allow to solve operatively the problems of optimization of production and technological processes.

Автоматизация технологических процессов — это высокий уровень комплексной автоматизации и электрификации сельскохозяйственного производства, при котором человек-оператор полностью или частично заменен специальными техническими средствами контроля и управления. Сегодня невозможно вести эффективную трудовую деятельность без серьезной модернизации технической базы и внедрения компьютерной техники.[1] Более крупные предприятия в сферах сельскохозяйственной и пищевой промышленности автоматизировали производство достаточно давно, сейчас же появилась возможность внедрения автоматизации и в относительно небольшие производства, делая их конкурентоспособными в условиях современного рынка. Достоинства автоматизации производственных процессов: существенное повышение качества продукции за счет исключения влияния человеческого фактора на поточных производствах, требующих высокой точности; устранение ошибок и нарушений технологических режимов, неизбежных при ручном труде, быстро перенастраиваемая автоматизированная система управления; освобождение человека от малоквалифицированного и монотонного труда, трудоемких и тяжелых операций; улучшение условий труда; исключение воздействия вредных факторов на персонал; уменьшение расходов на заработную плату; сокращение площадей и численности обслуживающего персонала, за счет использования технологического оборудования в три смены. При автоматизации производственных процессов возможно применение бесконтактных методов обработки, используя технологии лазерной, гидроабразивной резки, или использование роботов для окраски изделий. Измерительные операции являются частью повседневных задач всех предприятий. Роботы, входящие в комплекс автоматизации производственных процессов, способны облегчить их выполнение. Для выполнения измерительных операций роботы оснащаются оптическими или контактными датчиками. Во время применения такой системы отпадает необходимость в отправке изделий на специальные пункты контроля качества соответствующие процедуры можно осуществлять непосредственно на конвейере. Автоматизация производственных процессов - важнейшая часть современной промышленности, один из главных приоритетов технологического прогресса. Направление деятельности человека смещается на обслуживание производственных про-

цессов, контроль системы и на анализ деятельности предприятия. Производство может делиться на отдельные технологические участки, на каждом из которых реализуются определенные операции, а может представлять собой единый непрерывный процесс. При организации производственного процесса необходимо обеспечение слаженной работы всего персонала и оборудования, а это возможно лишь с применением автоматизации производственных процессов. Автоматизация производственных процессов приводит к повышению производительности труда и предприятия в целом, улучшению качества продукции, а также повышению уровня безопасности на производстве. Развитие технической базы идет вперед и появляются все более совершенные виды автоматики. Промышленные роботы уже внедряются в производство. Наиболее новым и развивающимся направлением автоматизации процессов является использование переносных робототехнических комплексов. Использование таких систем автоматики позволяет выполнять операции точнее и быстрее чем человек. Затраты на первом этапе заметно выше, чем при использовании более старых систем автоматизации, но они окупаются, так как продукция созданная с помощью современных автоматизированных систем более конкурентоспособна. Системы позволяют сократить время производства, уменьшить количество брака, обладают высокой точностью позиционирования. Особенно важно использование полностью автоматических систем производственных процессов на вредных для человека производствах. В зависимости от типа процесса можно подобрать соответствующие системы автоматизации любого уровня. От систем регулирования прямого действия, систем регулирования на базе регуляторов, до многоуровневой автоматизации на базе многопроцессорных серверов на верхнем уровне и микропроцессорных систем управления на нижних уровнях. [3] В последнее время наблюдается преобладание цифровых систем управления, обеспечивающим большую точность и более широкие возможности обработки, хранения и передачи информации. Несмотря на все увеличивающееся разнообразие серийных системами автоматизации, во многих случаях имеет смысл заказать индивидуальные разработки, т. к. будут учитывать все особенности конкретного производственного процесса и условия в которых он протекает.[2]

ЛИТЕРАТУРА

1. Бородин, И. Ф. Автоматизация технологических процессов и системы автоматического управления: учебник для прикладного бакалавриата/И. Ф. Бородин, С. А. Андреев. — 2-е изд., испр. и доп. — М. : Издательство Юрайт, 2017. — 356 с.
2. Орешина, М.Н., Автоматизация экспериментальных исследований биотехнологических процессов с использованием информационных технологий // Хранение и переработка сельхозсырья. 2015. № 6. С. 79-81
3. Продовольственная безопасность, импортозамещение и социально-экономические проблемы развития АПК: материалы международной научно-практической конференции (Новосибирск, 9–10 июня 2016 г.) / СибНИИЭСХ СФНЦА РАН. – Новосибирск, 2016. – 554с.

Демидов О.К., Барашко О.Г., к.т.н., доцент
Белорусский государственный технологический университет
г. Минск

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА УДАЛЕНИЯ ОТРАБОТАННОГО ШАХТНОГО ВОЗДУХА В ШАХТЕ КАК ОБЪЕКТ УПРАВЛЕНИЯ

Ключевые слова: анализ, процесс, объект управления, автоматизация, вентиляция шахт, вентиляторная установка.

Аннотация: проведён анализ процесса удаления отработанного шахтного воздуха в шахте как объекта управления, выявлены основные технологические переменные, определена структура системы автоматического управления процесса удаления отработанного шахтного воздуха.

Цель процесса – удаление отработанного воздуха в шахтных выработках №1-4 шахты с предельной концентрацией CH_4 ($A = 1\%$ по объёму), при поддержании заданного объёмного расхода воздуха в выработках №1-4 ($F_1=29 \text{ м}^3/\text{с}$, $F_2=29 \text{ м}^3/\text{с}$, $F_3=15,8 \text{ м}^3/\text{с}$, $F_4=11,4 \text{ м}^3/\text{с}$, соответственно).

Шахта представляет собой шахтную вентиляторную установку №1 и №2 (предназначена для переключения в резерв), секции калорифера, воздухоподающий ствол, шахтные выработки №1-4 и воздухоотводящий ствол. Расстояние между воздухоподающим и воздухоотводящим стволом составляет 100 метров. Глубина разработки составляет 250 метров.

В воздухоподающий ствол с помощью шахтной вентиляторной установки №1 за счёт создания депрессии поступает чистый воздух (расход $F_{уст1} \leq 330 \text{ м}^3/\text{с}$).

При зимнем режиме работы, для создания комфортных условий производственного процесса, холодный воздух дополнительно подогревается проходя через секции калорифера, расположенные в шахтном стволе (процесс подогрева воздуха) и далее поступает по вентиляционной сети в шахтные выработки. В этом случае температура подогретого воздуха ($T_{под} = 18^\circ\text{C}$) поддерживается путём изменения расхода горячей воды $F^*_{гор}$, проходящей через секции калорифера из котельной установки с помощью насоса.

Поступающий в шахтные выработки №1-4 чистый воздух загрязняется (газовыделения из горных пород, процессы окисления, взрывные работы, работающее горное оборудование). Для удаления такого отработанного загрязнённого воздуха из шахтных выработок №1-4 с предельной концентрацией CH_4 ($A = 1\%$ по объёму) при поддержании заданных объёмных потоков воздуха в выработках №1-4 ($F_1 = 29 \text{ м}^3/\text{с}$, $F_2 = 29 \text{ м}^3/\text{с}$, $F_3 = 15,8 \text{ м}^3/\text{с}$, $F_4 = 11,4 \text{ м}^3/\text{с}$, соответственно) целесообразно использовать каскадную систему управления и локальную систему управления по отклонению.

Каскадная система управления обеспечивает удаление отработанного воздуха в шахтных выработках №1-4 шахты с предельной концентрацией CH_4 , при поддержании заданного объёмного расхода воздуха F_1 , F_2 , F_3 , F_4 в выработках №1-4 и осуществляет управление через вспомогательную переменную - объёмный расход установки $F_{уст1}$ с помощью изменения скорости вращения рабочего колеса S^*_1 и тем самым достигается высокая точность управления.

Локальная система управления по отклонению обеспечивает удаление отработанного воздуха в шахтных выработках №1-4 шахты с предельной концентрацией CH_4 , при поддержании заданных объёмных расходов воздуха F_1, F_2, F_3, F_4 в выработках №1-4 и осуществляется с помощью вентиляционных дверей ($S^*_2 - S^*_5$).

В результате анализа процесса удаления отработанного шахтного воздуха в шахте как объекта управления, выявлены основные технологические переменные, определена структура системы автоматического управления процесса удаления отработанного шахтного воздуха, позволяющая поддерживать в выработках атмосферу с параметрами, необходимыми для ведения горных работ в соответствии с нормами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аэрология горных предприятий: учеб. пособие/ Ушаков К.З. и др. – М.: Недра, 1987. – 424с.
2. Завадская, Т.В. Моделирование структур и алгоритмов управления системы автоматизации вентиляции шахт / Т. В. Завадская // Наукові праці Донецького національного технічного університету, 2012. - № 1.-С. 188-199.

Жур А.А., ст. преподаватель

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 ав-

томатических 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 составляются 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 Щит управления с монтажной платой и электрооборудованием

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. предварительное определение характеристик объекта, расчет и настройка параметров аппаратуры систем;
8. подготовка к включению и включение в работу систем автоматизации для обеспечения индивидуального испытания технологического оборудования и корректировки 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”.

ЛИТЕРАТУРА

1. Куценко, Г.Ф. Монтаж, эксплуатация и ремонт электроустановок / Г.Ф. Куценко, - Минск: Дизайн ПРО, 2006, – 472с.
2. Грунтович, Н.В. Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования / Н.В. Грунтович, - Минск: Новое знание; М., ИНФА-М, 2013. – 271с.

**Королевич М.В., д.ф.-м.н., доцент, Андрианов В.М., д.ф.-м.н.,
Чернявский В.В., к.ф.-м.н., доцент, Болодон В.Н., к.биол.н.,
доцент, Ветрова В.Т., к.т.н., доцент, Быкова С.Л.
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь**

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЬЮТЕРНЫЙ АНАЛИЗ СПЕКТРО-СТРУКТУРНЫХ КОРРЕЛЯЦИЙ СЛОЖНЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

Ключевые слова: ИК спектроскопия, анализ нормальных колебаний, нитрозамещенные глюкопиранозиды, целлюлоза.

Аннотация. Представлены результаты разработки и применения оригинального компьютерного метода анализа инфракрасных (ИК) спектров сложных органических соединений. Продемонстрирована эффективность его использования при установлении спектро-структурных корреляций для углеводов медицинского и технического назначения.

Современная наука сосредоточила усиленное внимание на исследовании нанообъектов и разработке нанотехнологий, в частности, на создании веществ с заданными физическими свойствами или с определенной биологической активностью. Для решения этих задач могут быть использованы многие подходы к исследованию молекулярного мира, разработанные в рамках молекулярной спектроскопии.

В работе представлен комплекс программ полного расчета колебательных спектров (частот, распределений потенциальной энергии нормальных колебаний, декартовых смещений атомов, абсо-

лютных интенсивностей ИК полос поглощения) многоатомных молекул (рис. 1). Данный программный комплекс дает возможность детально интерпретировать ИК спектры органических соединений различных классов, предсказывать эффекты влияния на них межмолекулярных взаимодействий.

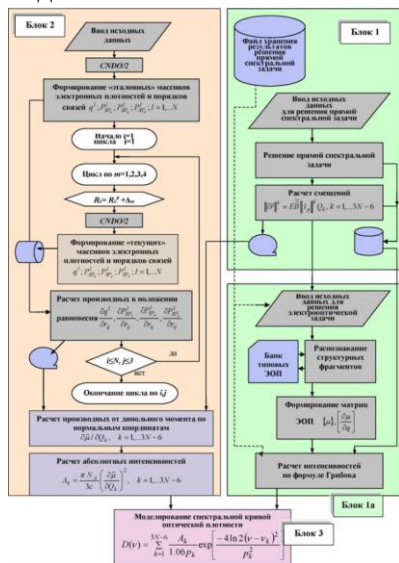


Рисунок 1 – Блок-схема программного комплекса для теоретического анализа ИК спектров сложных молекул

В нем реализованы два метода полного расчета спектра: классический параметрический, основанный на валентно-оптической теории (Блок 1 + Блок 1а); нетрадиционный комбинированный (Блок 1 + Блок 2), сочетающий расчет частот нормальных колебаний молекул классическим методом с квантово-химической оценкой абсолютных интенсивностей.

Анализ ИК спектров гидроксиэтилцеллюлозы (ГЭЦ) комбинированным методом показал, что одним из факторов термического гелеобразования в водных растворах простых эфиров целлюлозы является конформационная подвижность боковых сложноэфирных группировок. Различия теоретических спектров молекулярных структурных моделей 2,6-ГЭЦ для 20 и 70⁰С, обусловленные изменением конформаций боковых эфирных групп,

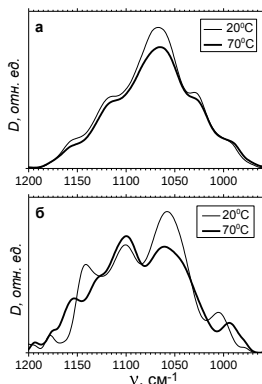
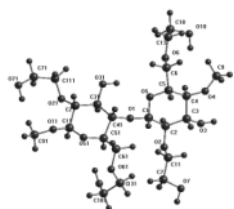


Рисунок 2 – Экспериментальные (а) и теоретические (б) ИК спектры поглощения водного раствора 2,6-ГЭЦ при температурах 20 и 70°C в диапазоне 1200–960 см^{-1}

соответствуют наблюдаемому перераспределению интенсивностей ИК полос поглощения в области 1200 – 900 см^{-1} при повышении температуры (рис.2).

Следовательно, по изменению интенсивностей полосы поглощения в области 1200–900 см^{-1} можно анализировать и контролировать процесс термического гелеоб-

разования водных растворов простых эфиров целлюлозы, происходящий при нагревании растворов.

Использование предложенного метода для расчетов ИК спектров метил- и нитропроизводных моносахаридов приводит к результатам, которые хорошо согласуются с экспериментальными данными, имеют большие предсказательные возможности и позволяют получить необходимые для практики спектро-структурные зависимости.

**Кротюк Ю.М., к.т.н., доцент, Гривачевский А.Г., к.т.н., доцент
Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси,
Минск**

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ АГРЕГАТОВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ

Агрегаты для обработки почвы, компьютерное проектирование, инженерный анализ

Получение эффективных энергосберегающих решений при проектировании конструкций почвообрабатывающих агрегатов является актуальной задачей, т.к. обработка почвы является самой энергоемкой операцией (до 40%) в сельском хозяйстве. Использование методов автоматизированного проектирования, моделирования технологических процессов обработки специализированных программных средств инженерного анализа позволяет успешно решить эту задачу. В Объединенном институте проблем информатики НАН Беларуси к настоящему времени разработан ряд программных решений этого направления, в т.ч. САПР конструкций широкозахватных пахотных агрегатов, рабочих органов машин по уходу за мелиоративными каналами (каналоочиститель, косилки, измельчитель роторного типа).

Анализ функциональных задач разработанных САПР позволил выделить инвариантные по отношению к предметной области функциональные задачи, которые были объединены в интегрированную среду информационной поддержки процессов проектирования и инженерного анализа элементов конструкции сложных технических объектов (ИСППИА) [1].

Структура ИСППИА была сформирована в виде набора инструментальных программных средств, направленных на реализацию функциональных задач САПР.

Инструментальные программные средства обеспечивают возможность построения интегрированной среды информационной поддержки процессов проектирования и инженерного анализа при создании САПР различной функциональной направленности.

ИСППИА обеспечивает возможность автоматизированного выполнения перечисленных ниже функций:

- сбор и хранение данных об элементах конструкций (геометрические параметры, сведения о применяемых материалах, сортаменте, назначаемых допусках и отклонениях и др.);
- ведение в базе данных библиотек параметризованных моделей унифицированных (базовых) элементов конструкции;
- поддержку процессов объемного геометрического моделирования элементов конструкций СТО;
- автоматизацию и информационную поддержку процессов расчета параметров элементов конструкции;

- оптимизацию параметров конструкции, которая осуществляется путем вариации параметров формы, размеров и свойств конструкции.

Основным компонентом ИСППИА является “Менеджер проектов”, который реализует интерфейс для ведения диалогов, взаимодействий и транзакций между пользователем и компьютером, ввод-вывод данных, проверку корректности введенных пользователем данных, отображение конструкторской и др. информации по проекту; определяет порядок использования программы, доступ и управление всеми ее модулями.

Менеджер проектов обеспечивает также информационную поддержку процессов описания и подготовки данных для проектирования элементов конструкции агрегатов для обработки почвы и различные расчетные процедуры проекта, кроме того обеспечивает взаимодействие между функциональными подсистемами в процессе реализации проектных процедур и предоставление информации автоматизированным системам, задействованным в процессе проектирования.

В состав ИСППИА, для автоматизации работ по проектированию конструкции и последующего их использования при разработке конструкторско-технологической документации и проведения инженерных исследований прочностных характеристик [1] включена библиотека параметризованных CAD-моделей элементов конструкции агрегатов для обработки почвы. Библиотечная модель элемента конструкции представляет собой параметризованную твердотельную модель (3D) детали или сборки, построенную с соблюдением набора требований модель параметризованного конструктивного элемента, которая представляет собой твердотельную модель (3D) детали или сборки построенную с соблюдением набора требований, предъявляемых к библиотечным параметризованным моделям в составе ИСППИА.

Для обеспечения поддержки процессов инженерного анализа конструкций и выполнения прочностных расчетов используются программные средства расчета элементов конструкций, программные средства расчета конструкций и программные средства подготовки расчетных данных для пакета LS-DYNA. Данные ПС обеспечивают интеграцию инженерных пакетов ANSYS и LS-DYNA с базовой системой геометрического моделирования и позволяют

проводить численное моделирование конструкций в различных постановках (одномерный случай на базе конечных элементов BEAM, трехмерный случай на базе конечных элементов BEAM, трехмерный случай на базе конечных элементов SOLID).

Использование разработанных на основе инструментальных программных средств САПР почвообрабатывающих агрегатов показало их функциональную достаточность и эффективность, позволило повысить качество конструкций, сократить ее удельное энергопотребление за счет оптимизации параметров конструкции и снижении веса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кротюк Ю.М. Интегрированная система информационной поддержки процессов проектирования и инженерного анализа машиностроительных конструкций / Ю.М. Кротюк, А.Г. Гривачевский // Проблемы создания информационных технологий. – М. : ООО «Техполиграфцентр», 2013. – С.201 – 205.

Кулаков Г.Т., д.т.н., профессор, Кулаков А.Т., к.т.н., доцент
УО «Белорусский национальный технический университет»

Ковалев В.А., к.т.н., доцент

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

ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ПРЕДИКТИВНОГО ПРОПОРЦИОНАЛЬНО-ИНТЕГРАЛЬНОГО РЕГУЛЯТОРА

Ключевые слова. Пропорционально-интегральный регулятор, предиктивный ПИ-регулятор, динамическая настройка, метод полной компенсации.

Аннотация. The report highlights approaches to parametric optimization of a predictive PI controller. The use of a predictive PI controller allows to significantly reduce the time of regulation.

Широкое распространение в области автоматизации технологических процессов получил метод полной компенсации в частном виде [1,2], позволяющий рассчитывать параметры динамической

настройки ПИ-регулятора, соответствующие критерию оптимального модуля.

При этом время интегрирования регулятора компенсирует постоянную времени передаточной функции объекта, динамика которого представляется инерционным звеном первого порядка:

$$W_o(p) = \frac{K_o e^{-\phi_y p}}{T_o p + 1}.$$

При этом полное время регулирования в системе автоматического регулирования (САР) определяется численным значением условного запаздывания.

Для уменьшения времени регулирования можно применить предиктивный ПИ-регулятор с передаточной функцией вида:

$$W_p(p) = K_p + \frac{e^{-\phi_y p}}{T_{и} p}. \quad (1)$$

Для расчета параметров настройки предиктивного ПИ-регулятора предлагается использовать следующую методику.

Передаточная функция регулятора (1) может быть приближенно представлена передаточной функцией вида:

$$W_p(p) = \frac{(K_p T_{и} - \phi_y) p + 1}{T_{и} p}. \quad (2)$$

Передаточная функция разомкнутой САР равна:

$$W_{PC}(p) = W_p(p) W_o(p) = \frac{[(K_p T_{и} - \phi_y) p + 1] K_o(p) e^{-\phi_y p}}{T_{и} p (T_o p + 1)}. \quad (3)$$

При выполнении условия

$$T_o = K_p T_{и} - \phi_y \quad (4)$$

передаточная функция (3) принимает следующий вид:

$$W_{PC}(p) = \frac{K_o e^{-\phi_y p}}{T_{и} p} = \frac{e^{-\phi_y p}}{T_{и}^* p}, \quad (5)$$

$$\text{где } T_{и}^* = \frac{T_{и}}{K_o}.$$

С учетом (5) передаточная функция замкнутой САР по задающему воздействию:

$$W_{\text{зс}}(p) = \frac{1}{\frac{1}{W_{\text{пс}}(p)} + 1} = \frac{e^{-\phi_y p}}{(T_{\text{и}}^* - \phi_y)p + 1} = \frac{e^{-\phi_y p}}{T_{\text{зд}}p + 1}, \quad (6)$$

где $T_{\text{зд}}$ - заданное значение постоянной времени критерия оптимальной отработки скачка задания, равное $T_{\text{зд}} = \gamma\phi_y$. При этом коэффициент выбирается из ряда чисел правила золотого сечения [2].

Задаввшись значением параметра $T_{\text{зд}}$ с учетом (6) находим численное значение постоянной времени $T_{\text{и}}^* = T_{\text{зд}} + \phi_y$, а затем вычисляем значение постоянной интегрирования по следующей формуле:

$$T_{\text{и}} = K_{\text{о}}(T_{\text{зд}} + \phi_y). \quad (7)$$

Коэффициент передачи регулятора с учетом (6) рассчитывается из равенства (4):

$$K_{\text{р}} = \frac{T_{\text{о}} + \phi_y}{T_{\text{и}}} = \frac{T_{\text{о}} + \phi_y}{K_{\text{о}}(T_{\text{зд}} + \phi_y)}. \quad (8)$$

Пусть передаточная функция объекта регулирования имеет следующие параметры: $K_{\text{о}} = 2$; $T_{\text{о}} = 20$ с; $\phi_y = 10$ с.

Примем численное значение $T_{\text{зд}} = 0,618\phi_y = 6,18$ с, тогда параметры динамической настройки предиктивного ПИ-регулятора (1) будут равны: $T_{\text{и}} = 32,36$ с; $K_{\text{р}} = 0,927$. Типовой ПИ-регулятор, настроенный по методу полной компенсации в частном виде [1] имеет следующие значения параметров динамической настройки:

$$T_{\text{и}} = T_{\text{о}} = 20 \text{ с}; \quad K_{\text{р}} = \frac{T_{\text{о}}}{2K_{\text{о}}\phi_y} = 0,5.$$

Переходные процессы в замкнутой системе автоматического регулирования с типовым ПИ-регулятором и предиктивным ПИ-регулятором при отработке задающего воздействия приведены на рис.1.

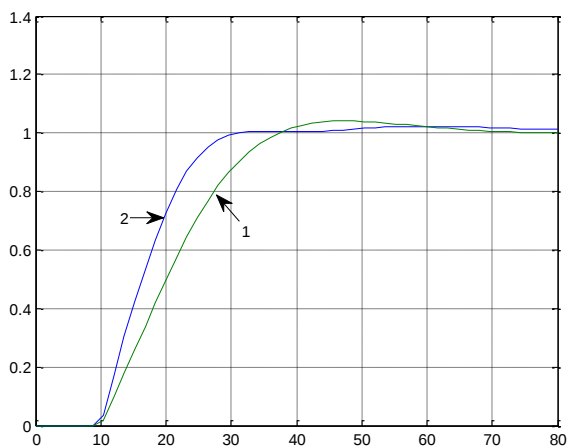


Рисунок 1 - Переходные процессы в замкнутой САР с типовым ПИ-регулятором и предиктивным ПИ-регулятором при отработке скачка задающего воздействия: 1 – САР с типовым ПИ-регулятором; 2 – САР с предиктивным ПИ-регулятором.

Из анализа графиков переходных процессов следует, что использование предиктивного ПИ-регулятора позволяет существенно сократить время регулирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кулаков Г.Т. Инженерные экспресс-методы расчета промышленных систем регулирования / Г.Т. Кулаков, Минск, 1989.- 192с.: Ил.
2. Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами / Г.Т. Кулаков [и др.]; под ред. Г.Т. Кулакова. – Минск: Вышэйшая школа, 2017. – 238с.: Ил.

АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ВЛАЖНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ СВЧ- АКУСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Аннотация. Рассматривается автоматический контроль влажности сельскохозяйственных материалов СВЧ-акустическим методом.

Как правило в СВЧ-влажнометрии сельскохозяйственных материалов используют одно- и двухпараметровые методы измерения, ввиду их относительной простоты. Эти методы основаны на использовании одной или двух величин, характеризующих определенные параметры электромагнитного поля СВЧ, функционально связанные с влажностью материала.

В [1] было показано, что влажность W , коэффициент заполнения Φ , температура T и концентрация солей C оказывают наиболее сильное влияние на диэлектрические характеристики влагосодержащих материалов. Тогда для нахождения влажности с учетом указанных параметров система уравнений запишется:

$$\begin{aligned}x_1 &= F_1(W, \Phi, T, C), \quad x_2 = F_2(W, \Phi, T, C) \\x_3 &= F_3(W, \Phi, T, C), \quad x_4 = F_4(W, \Phi, T, C)\end{aligned}\tag{1}$$

В таком виде эта система не имеет решения, т.к. нам известно только два независимых параметра преобразования - коэффициент затухания a (или ϵ'') и фазовая постоянная β (или ϵ'). В (1) можно убрать один параметр - концентрацию солей C , снизив его влияние на X до величин второго порядка малости соответствующим выбором частоты. Для крупнодисперсных влажных материалов закон изменения a , β , ϵ'' и ϵ' от температуры известен. Анализ работ по СВЧ-влажнометрии, сделанный в [1] показывает, что коэффициент заполнения Φ является наиболее значимым параметром, который относят к "мешающим факторам". Поэтому произведем комплексирование параметров a и β с целью получения параметра преобразования, независимого от Φ . Сократив систему (1) до двух уравнений и подставив значения a и β из [1], получим

$$\alpha = \Phi \frac{\rho_0 W}{\rho_H (1-W)} \times \alpha_H; \quad \beta = \Phi \left[\frac{\rho_0}{\rho_H} \frac{W}{(1-W)} (\beta_H - \beta_0) + (\beta_c - \beta_0) \right] \quad (2)$$

Эта система решается относительно W с исключением Φ

$$W = \left\{ 1 - \frac{\rho_0}{\rho_H} \left[\frac{\beta_H - \beta_0}{\beta_c - \beta_0} - \frac{\alpha_H}{\alpha} \left(\frac{\beta - \beta_0}{\beta_c - \beta_0} \right) \right] \right\}^{-1} \quad (3)$$

Второй способ состоит в исключении Φ из этих двух уравнений без выделения в явной форме W .

Поделив уравнение a на β в (8) приходим к A -параметру [2], независящему от коэффициента заполнения

$$A(W) = \frac{\alpha}{\beta_H - \beta_0} = \frac{\alpha_H(W)}{\beta_H(W) - \beta_0 + \frac{\rho_H}{\rho_0} (\beta_c - \beta_0) \left(\frac{1}{W} - 1 \right)} \quad (4)$$

Зависимости $a_H(W)$ и $\beta_H(W)$ отражают тот факт, что по мере увлажнения материала меняется количественное соотношение между различными формами влаги в материале.

В [1] показано, что с учетом связи между комплексной Диэлектрической проницаемостью влагосодержащего материала и коэффициентами a и β можно получить другую полезную для практических целей форму записи A -параметра:

$$A(W) = 0.5 K \epsilon'' / \epsilon' - 1, \quad (5)$$

Так как ϵ'' и ϵ' являются функциями температуры, то и $A(W)$ также зависит от температуры.

Если теперь поставить задачу комплексирования трех параметров, чтобы устранить влияние температуры, то на наш взгляд, решить эту задачу аналитически не представляется возможным, т.к. температура входит в выражения для ϵ'' влажного материала в сложном виде.

Решение этой задачи состоит в минимизации степени влияния температуры на A -параметр, путем оптимизации частоты. На рис.1 приведены результаты расчета зависимости A -параметра от влажности для кварцевого песка различной плотности. Аналогичные зависимости получены авторами для чая и резаного табака, причем плотность (коэффициент заполнения) изменялась в 2,5-3 раза. Во всех трех случаях до определенной критической влажности наблюдалось отсутствие влияния плотности на результат измерения

влажности по A -параметру. В то же время при влажности больше некоторой критической наблюдалось резкое снижение чувствительности и неоднозначность в определении содержания влаги. Теоретическое объяснение этому факту дано в работе [2].

Как уже указывалось выше на параметр преобразования в СВЧ-методах в первую очередь оказывает влияние влажность и лишь затем плотность (коэффициент заполнения) и температура. Если влияние температуры можно уменьшить до допустимых классов точности прибора пределов, например, введением автоматической температурной коррекции, либо, как в случае с A -параметром выбором рабочей частоты, то влиянием переменной плотности, особенно при поточных измерениях, пренебречь невозможно.

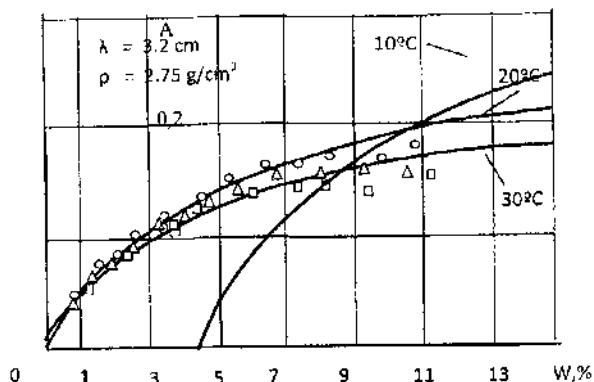


Рис.1 Зависимость A -параметра для кварцевого песка от влажности и температуры на длине волны $\lambda = 3,2$ см. Результаты эксперимента: $\circ$ - $p_0 = 2,75 \text{ g/cm}^3$; Δ - $p_0 = 2,47 \text{ g/cm}^3$; $\square$ - $p_0 = 2,28 \text{ g/cm}^3$

Частично эта задача решается в двухпараметровых СВЧ-методах, а также при измерении A -, B - и C -параметров, теоретически зависящих только от влажности (при автоматической температурной коррекции) [1]. Однако, в ряде случаев наблюдается неоднозначность в определении влажности материалов переменной плотности по A -параметру, особенно в области высоких влагосодержаний [1-3]. Попытки применения комбинированного амплитудно-фазового метода, а также других СВЧ-методов на основе измерения B - и C -параметров также не всегда позволяют существенно повысить точность измерений влажности материала в по-

токе при значительных колебаниях его плотности. Например, в случаях поточных измерений влажности табака, чая, хлопка и подобных материалов.

В то же время результаты исследования ультразвукового метода измерения влажности твердых сыпучих материалов [4], что стало возможным с разработкой при участии авторов пьезокерамических приемников-излучателей для газовой среды, показали возможность создания акустических влагомеров. Причем в отличие от СВЧ-методов чувствительность к изменению плотности у акустических методов оказалась на порядок выше чем чувствительность к влажности. Это обстоятельство подсказало идею создания комбинированного СВЧ-акустического метода измерения влажности материалов переменной плотности.

Сущность предлагаемого способа заключается в измерении влажности табака на основе резонаторного двухпараметрового метода с коррекцией по плотности, путем введения коэффициентов κ_1 и κ_2 , получаемых на основе измерения амплитуды ΔU и фазы $\Delta \varphi$ акустической волны, прошедшей через данный материал.

Т.е. фактически мы должны решить систему как минимум трех уравнений с тремя неизвестными: $\Delta N = \varphi_1(W, \Phi, t)$, $\Delta f = \varphi_2(W, \Phi, t)$, $\Delta U = \varphi_3(W, \Phi, t)$, а также $\Delta \tau = \varphi_4(W, \Phi, t)$. Последнее выражение вносит структурную избыточность, что позволяет дополнительно повысить достоверность измерений. В [4] приведено выражение, связывающее четыре измеряемых параметра с влажностью материала W . Оно позволяет избавиться от необходимости решения системы уравнений со структурной избыточностью:

$$W = F \left[\frac{\exp \left(\frac{\Delta N \ln U_0 / U_1 \kappa_1}{8,686} \right) - 1}{\Delta f} \tau_0 / \tau_1 \kappa_2 \right] \quad (6)$$

где F - обратная функция от измеряемых параметров, связанных с влажностью;

ΔN - переходное ослабление резонатора, дБ;

U_0 - амплитуда напряжения зондирующего импульса пьезоприемника в отсутствие материала, мВ;

U_1 - амплитуда напряжения зондирующего импульса пьезоприемника прошедшего через материал, мВ;

τ_0 - время прохождения зондирующего импульса в отсутствие материала, мс;

τ_1 - время прохождения зондирующего импульса с материалом в резонаторе, мс;

Δf - смещение частоты резонатора, ГГц;

κ_1 и κ_2 -коэффициенты, являющиеся константами для данного материала.

Реализован данный способ измерения в резонаторном СВЧ-влажномере табака, основанном на измерении A -параметра [4]. При чем в диапазоне влажности табака 8...12% коррекция на изменение плотности от $0,2\text{г/см}^3$ до $0,5\text{г/см}^3$ не требуется. При больших влажностях вносится дополнительная коррекция на изменение плотности путем измерения параметров акустической волны прошедшей через материал. Абсолютная погрешность измерения влажности при этом не превышала 0,5%.

Выводы:

Комбинированные СВЧ-акустические методы позволяют существенно повысить точность измерения влажности материалов переменной плотности при непрерывном и дискретном контроле.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лисовский В.В. «Теория и практика сверхвысокочастотного контроля влажности сельскохозяйственных материалов» - Минск: БГАТУ, 2005.-292с.

2. Igor Renhart, Boris Tsentsiper, Dielectric Properties of Bulk Materials and Restrictions to the Application of Two-Parameter Microwave Aquametry. 6Th International Conference on «Elektromagnetic Wave Interaction with Water and Moist Substances». -Weimar, Germany, 2005 -pp. 481-488.

3. Lisovsky, V. The Automatic Control of Moisture in Agricultural Products by Methods of Microwave Aquametry / V. Lisovsky // Measurement Science and Technology - 18 (2007).- pp. 1016-1021.

4. Лисовский В.В. Положительное решение на выдачу патента РБ по заявке на изобретение № а20090332 от 27.01.2011г. «Способ измерения влажности материалов переменной плотности».

**Матвейчук Н.М., к.ф.-м.н., Сеньков А.Г., к.т.н., доцент
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», г. Минск, Республика Беларусь**

АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРОЙ НАГРЕВА МОЛОКА В СЫРНОЙ ВАННЕ

Ключевые слова: цифровое управление, адаптивное управление.

Аннотация. В работе предложен адаптивный алгоритм управления температурой нагрева молока в сырной ванне.

Современные требования к технологии производства сыров включают необходимость программного поддержания температуры в сырной ванне [1]. В то же время, на точность температурного режима оказывает негативное влияние нестабильность динамических параметров ванны, обусловленная различными химическими показателями продукта – жирностью и т.д. Целью настоящего исследования был поиск возможных резервов повышения энергоэффективности процесса нагревания сырного зерна за счет использования адаптивного принципа автоматического управления температурой молока.

На основе анализа экспериментальных данных и научной литературы [2] была принята динамическая математическая модель сырной ванны как объекта регулирования температуры в виде апериодического звена 1-го порядка с неопределенностью коэффициента преобразования и постоянной времени вследствие возможных изменений жирности молока. Для компенсации влияния параметрической неопределенности объекта управления в системе был использован принцип адаптивного управления с эталонной моделью (рис. 1). В качестве блока адаптации предлагается использовать пропорционально-дифференциальное звено [2].

Исследование качества регулирования температуры нагревания молока в предлагаемой адаптивной системе было выполнено методом компьютерного моделирования с использованием программного пакета Simulink.

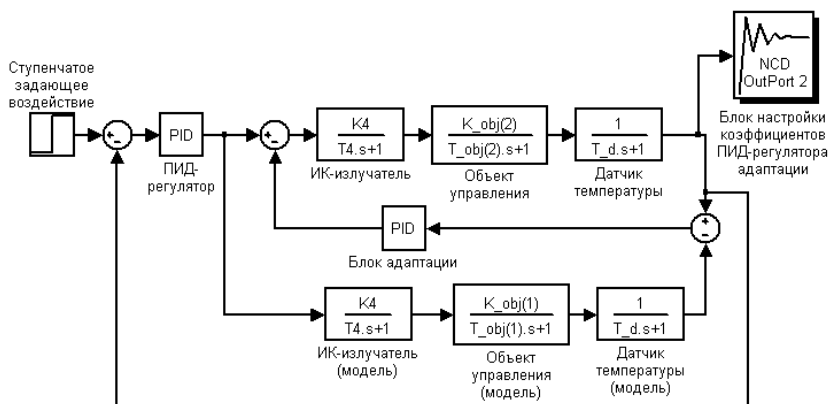


Рисунок 1 – Динамическая модель адаптивной системы автоматического регулирования в среде Simulink

Для моделирования параметрической неопределенности объекта управления предполагалось 5-кратное возможное изменение параметров математической модели объекта, как в меньшую, так и в большую стороны от соответствующих номинальных (эталонных) значений.

В результате было установлено, что использование в системе нагревания молока адаптивного управления с эталонной моделью позволяет в значительной мере исключить влияние параметрических неопределенностей объекта управления на качество регулирования температуры молока (рис. 2).

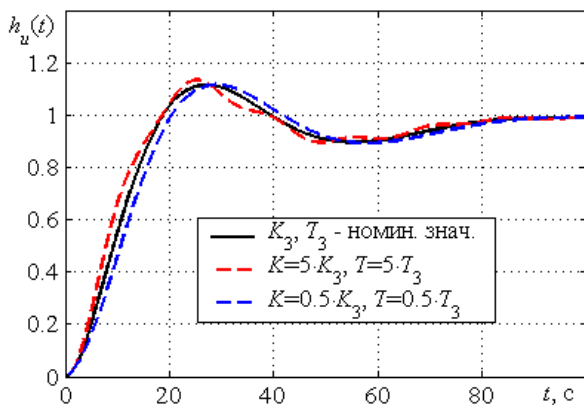


Рисунок 2 - Результаты численного моделирования работы адаптивной САР температуры при отклонениях динамических параметров объекта управления от номинальных значений K_3 , T_3

ЛИТЕРАТУРА

1. Пономорев А.Н. Новые технологии питьевого молока: монография/ А. Н. Пономарев, Л. В. Голубева, А. А. Мерзликина. – Воронеж: ГОУВПО "Воронежская гос. технологическая академия", 2010. – 115с.
2. Бесекерский В.А. Теория систем автоматического регулирования, издание третье, исправленное. Бесекерский В.А., Попов Е.П., издательство «Наука», Главная редакция физико-математической литературы, М., 1975, 768 стр.

Мицевич А.В., Матвейчук Н.М. к. ф.-м. н.
УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь

АВТОМАТИЗАЦИЯ ВЫДАЧИ КОРМА КРС С УЧЕТОМ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЖИВОТНОГО

Ключевые слова: нормированная кормораздача, идентификация коров, контроллер, роботизированное доение

Аннотация: в работе рассмотрены вопросы нормированного кормления коров на основании идентификации животного. Предложена схема автоматизации нормированного расчета и выдачи корма коровам при роботизированном доении.

Состояние здоровья, продуктивность животных и птицы зависят не только от качества, уровня и полноценности их питания, но и в значительной мере от своевременной и правильной раздачи кормов.

На современных комплексах по содержанию КРС все чаще используют систему автоматизированного кормления. Автоматизация и механизация основных производственных процессов позволяет повысить эффективность содержания КРС благодаря снижению трудоемкости производства и влияния человеческого фактора на важнейший процесс, влияющий на продуктивность коров. Осуществляя качественное и сбалансированное кормление можно существенно повысить продуктивность КРС.

Успешному внедрению автоматизированной системы кормления должен предшествовать зоотехнический эксперимент по определению видового состава и норм выдачи кормов. Наиболее точным способом определения норм выдачи является круглосуточный компьютерный учёт поедаемости корма опытной группой животных из индивидуальных кормушек по результатам автоматического непрерывного определения их массы.

При содержании в одном коровнике животных неравнозначных кормовых групп выдача одинакового количества корма по всему фронту кормления допускается только при раздаче сена, соломы и силоса. Концентрированные корма и корнеплоды выдают коровам каждой группы нормировано, т.е. с учетом их массы, физиологического состояния и продуктивности.

Корма нормируют в зависимости от продуктивности животных. Потребность в питательных веществах дойных коров определяется живой массой и уровнем продуктивности.

Чем выше удои коров, тем выше должна быть концентрация энергии в сухом веществе рационов, больше переваримого протеина в каждой кормовой единице, ниже содержание клетчатки в кормах.

Для осуществления нормированной раздачи корма применяют идентификацию.

Целью идентификации является автоматическое распознавание животных в местах автоматизированного применения индивидуальных управляющих процедур. Технически указанное распознавание осуществляется посредством считывания уникального кода пассивной радиочастотной или активной инфракрасной метки-транспондера, закреплённой на ошейнике коровы, специальной антенной с ограниченной зоной чувствительности. Идентификацией же называется процесс получения кода метки. Наибольшую техническую сложность представляет достоверная идентификация коров в доильном зале.

Раздача корма осуществляется следующим образом (рис. 1). К боковой стенке входных ворот доильного робота прикреплена антенна 9 системы распознавания животного. Получив сигнал от датчика 8 животного, в котором закодирован его номер, система распознает его и рассчитывает конкретному животному строго определенную дозу витаминных добавок в корм за одно кормление.

Кормушка оборудована дозатором корма автоматически заполняемым тросово-шайбовым транспортером, который через приемный бункер связан с шнековым транспортером бункера сухих кормов. Из бункера 1 сухих кормов шнековым транспортером 2 корм подается в приемный бункер 3 тросово-шайбового раздатчика 4, туда же насыпается рассчитанная для идентифицированного животного доза минерально-витаминных добавок из бункера 11. После чего при помощи мешалки вся масса перемешивается для лучшего поедания. Далее корм поступает в дозатор 6, который выдает корм в кормушку 10.

Степень заполнения дозатора контролируется датчиками верхнего 5 и нижнего 7 уровней.

При замыкании контактов датчика верхнего уровня тросово-шайбовый транспортер останавливается, прекращая подачу корма в дозатор. После окончания доения и выхода коровы из доильного робота происходит идентификация следующей коровы и процесс повторяется.

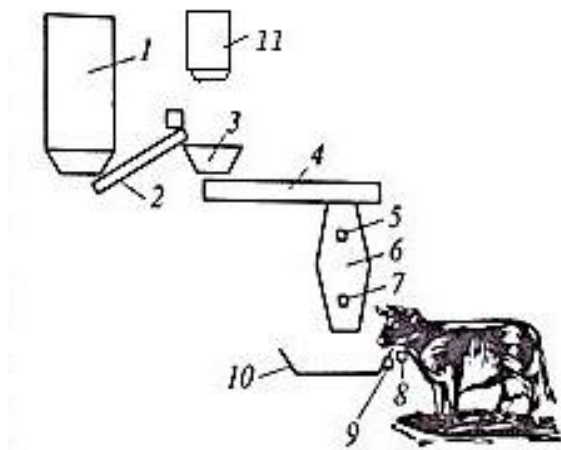


Рис. 1. Технологическая схема оборудования для автоматизированной раздачи концентрированных кормов.

1 – бункер сухих кормов; 2 – шнековый транспортер; 3 – тележка; 4 – тросово-шайбовый раздатчик; 5 – датчик верхнего уровня; 6 – дозатор; 7 – датчик нижнего уровня; 8 – датчик животного; 9 – антенна; 10 – кормушка; 11 – бункер, содержащий минерально-витаминный комплекс.

Схему управления можно реализовать как на основании релейно-контактной схемы, так и на базе контроллера. В работе схема реализована на базе контроллера, что обусловлено следующими факторами:

1. Надежность: исключение из схемы большого количества релейно-контактных элементов и регуляторов, что повышает надежность и позволяет проще устранять неполадки (сокращает возможные места их появления).

2. Простота исполнения: удобный и доступный интерфейс контроллера позволяет реализовывать на нем требуемые задачи при минимуме затрачиваемых усилий.

3. Возможность мониторинга: контроллер позволяет выполнять контроль и мониторинг, выполняемого процесса в реальном времени.

4. Функциональность: в случае изменения технологического процесса (времени срабатывания, задержек, очередности выполняемых процессов, уставок), можно обойтись без внедрения новых элементов схемы, путем перепрограммирования контроллера.

5. Экономическая целесообразность: стоимость контроллера при значительных реализуемых схемах, ниже стоимости аппаратуры, используемой без применения контроллера. Во многих случаях, применение контроллеров, не требует наличия постоянного обслуживающего персонала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кирсанов, В. В. Механизация и технология животноводства: учебник / В.В. Кирсанов, Д.Н. Мурусидзе, В.Ф. Некрашевич, В.В. Шевцов, Р.Ф. Филонов. – Москва: НИЦ Инфра-М, 2013. - 585с.
2. Фурсенко, С.Н. Автоматизация технологических процессов : учеб. пособие / С.Н. Фурсенко, Е.С. Якубовская, Е.С. Волкова. – Минск: БГАТУ, 2007. – 592 с.
3. Якубовская, Е.С. Автоматизация технологических процессов сельскохозяйственного производства: практикум / Е.С. Якубовская, Е.С. Волкова. – Минск: БГАТУ, 2008. – 320 с.
4. Принципы автоматизации кормораздачи на КРС: <https://studfiles.net/preview/5332774/page:8/>

ДИНАМИКА КОРНЕВЫХ ПОРТРЕТОВ СИСТЕМ ТРЕТЬЕГО ПОРЯДКА С ПЕРЕМЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

Ключевые слова: Динамическая система, переменные параметры, корневой портрет, синтез, анализ.

Аннотация. Выполняется исследование области пересечения границы асимптотической устойчивости динамической системы с переменными коэффициентами семейством годографов корневой портрета системы. Формулируются условия устойчивости для проверки устойчивости и параметрического синтеза системы.

1. Динамика функции параметра на границе устойчивости

Рассмотрим систему с переменными параметрами, динамические свойства которой описываются полиномиально [1]:

$$s^3 + a_1 s^2 + a_2 s + a_3 = p(s), \quad (1.1)$$

где $a_j \in [\underline{a}_j, \bar{a}_j]$, и ее свободный корневой портрет [2], т.е. портрет, сформированный при вариации свободного члена a_3 .

Уравнение свободного корневой годографа полинома (1.1):

$$\omega^3 - a_2 \omega = 0, \quad (1.2)$$

уравнение параметра [2] (1.1):

$$a_1 \omega^2 = a_3. \quad (1.3)$$

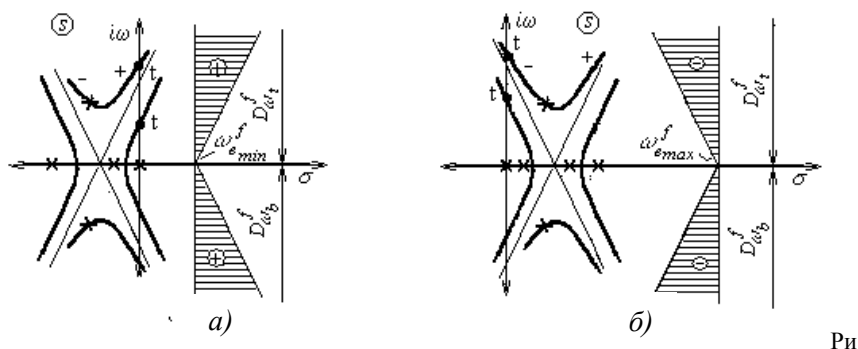
На основе результатов, полученных в [2], установлены три следующих варианта пересечения границы асимптотической устойчивости данной системы ветвями корневых годографов:

- границу пересекают положительные ветви, $a_1 > 0, a_2 > 0$;
- границу пересекают отрицательные ветви, $a_1 < 0, a_2 > 0$;
- ветви годографов не пересекают границу, $-\infty < a_1 < +\infty, a_2 < 0$.

На основании выполненного исследования поведения функции параметра (1.3) для поля корневых траекторий [1] с параметром a_2 на границе устойчивости при положительных коэффициентах полинома (1.1) сформулируем следующее утверждение.

Утверждение 1.1. Функция параметра (1.3) траектории для поля корневых траекторий динамической системы третьего порядка, описываемой характеристическим полиномом (1.1) с положительными или отрицательными коэффициентами, имеет соответственно возрастающий или убывающий характер; в единственной точке экстремума функции, находящейся в начале координат плоскости корней, параметр траектории равен нулю.

На рис. 1.1 показаны диаграммы распределения функции параметра при положительных (рис. 1,1, а)) и отрицательных (рис. 1,1, б)) коэффициентах (D_{ω}^f – область пересечений границы устойчивости $i\omega$ годографами поля F (область пересечений)).



с. 1.1. Динамика функции параметра на границе устойчивости

Из отмеченного следует, что при прочих равных условиях с уменьшением a_1 корневой портрет интервального семейства постепенно и непрерывно перемещается вправо в сторону неустойчивого состояния.

2. Алгоритм параметрического синтеза систем

Сформулируем условие устойчивости интервальной системы.

Теорема 2.1. Для асимптотической устойчивости динамической системы, описываемой семейством характеристических уравнений вида (1.1), необходимо и достаточно, чтобы выполнялось условие

$$\bar{a}_3 < a_{r\min}, \quad (2.1)$$

где $a_{r\min}$ – минимальное значение параметра a_3 в области пересечений D_{ω} границы устойчивости годографами портрета [1].

На этом основании определим простой алгоритм для параметрического синтеза интервальной системы:

1. Вычисление координаты $\omega_{r\min}$ точки реальной области пересечений D_{ω} , в которой параметр траектории a_3 минимален: $a_3 = a_{r\min}$, с использованием формулы (1.2) при $a_2 = \underline{a}_2$.

2. Вычисление минимального значения параметра $a_{r\min}$ в полученной в п. 1 точке $\omega_{r\min}$ по формуле (1.3) при $a_1 = \underline{a}_1$.

3. Проверка условия устойчивости (2.1) и корректировка предельного значения $\bar{a}_3$ в случае необходимости.

На основе сделанных выше заключений сформулируем еще одно условие устойчивости для рассматриваемой системы.

Теорема 2.2. Для асимптотической устойчивости интервальной динамической системы третьего порядка, описываемой семейством характеристических полиномов вида (1.1), необходимо и достаточно, чтобы был устойчив только один следующий полином семейства:

$$h(s) = s^3 + \underline{a}_1 s^2 + \underline{a}_2 s + \bar{a}_3. \quad (2.2)$$

Полином (2.2) совпадает с полиномом, полученным Андерсоном [3]. Однако по сравнению с условием Андерсона полученное условие (2.2) в сочетании с (2.1) имеет серьезное преимущество, поскольку позволяет не только проверить устойчивость интервальной системы, но в случае неустойчивости, также найти значения интервалов изменения коэффициента a_3 , обеспечивающих ее устойчивость.

Результаты работы могут быть использованы при синтезе систем управления объектами с переменными параметрами.

ЛИТЕРАТУРА

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.

3. Anderson, B. On Robust Hurwitz Polynomials / B. Anderson // IEEE Trans. Automat. Control. – Vol. 32. – P. 909–913 –1987.

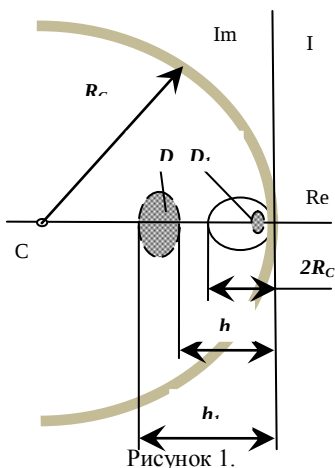
ДИСКРЕТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ В МНОГОКОНТУРНОЙ СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Ключевые слова: Система многоконтурная, дискретный пропорционально интегрирующий (ПИ) регулятор, параметрический синтез, регулируемый электропривод.

Аннотация. Рассмотрен расчет параметров ПИ регуляторов в многоконтурной дискретной системе с различными периодами дискретности. Метод применим для систем автоматизации с регулируемыми электроприводами. Приводится результат расчета и моделирования.

В системах автоматизации технологических процессов сигналы управления формируются вычислительными устройствами (программируемыми контроллерами и микроконтроллерами). Исполнительным устройством служит электропривод. В то же время электропривод [1] есть законченная система с возможностью подключения внешнего (технологического) контура управления.

Система в целом, и каждый из контуров управления должны удовлетворять заданным показателям качества: внутренние контуры - быстродействию, а внешние - технологическим требованиям,



что может занимать значительное время для расчета сигнала управления. Интервалы дискретности управления, таким образом, отличаются в контурах.

Результаты расчета и анализа многоконтурной непрерывной системы [2] показывают, что взаимное влияние контуров незначительно, если доминирующие корни полинома каждого внутреннего контура в 4-5 и более раз превосходить по модулю доминирующие корни внешнего

контура. Это может иметь место и в дискретной системе.

Для синтеза дискретной системы нужна единая мера качества. Области устойчивости и качества контуров целесообразно отобразить в левую полуплоскость комплексной плоскости в масштабе, соответствующем непрерывным процессам объекта управления. Это дает замена переменной [3] $z = (T_C q + 1)$, отображающая единичный круг с центром в начале координат на плоскости z в круг в левой полуплоскости переменной q радиусом $R_C = T_C^{-1}$ (для внутреннего контура), проходящий через начало координат. Переменная q близка к переменной s преобразования Лапласа в малой окрестности начала координат комплексной плоскости. Для внешнего контура следует рассматривать область устойчивости радиусом $R_{C1} = T_{C1}^{-1}$. Время регулирования задано интервалом $t_0 \in [0, \bar{t}_0]$. Тогда для двух комплексных сопряженных корней $q_{1,2} = -\alpha_0 \pm j\omega_0$ справедливы, учитывая приближенную зависимость $3/t_0 \approx \alpha_0$, ограничения $\text{Re}(q_i) = \alpha_0 \in [h, h_1]$, $\omega_0/\alpha_0 \leq k_0$.

Области устойчивости радиусами R_C , R_{C1} и области качества D , D_1 на комплексной плоскости переменной q для двух контуров управления показаны на рисунке 1. Характеристический полином контура с ПИ регулятором и редуцированной моделью объекта первого порядка принимает вид $N(q) = q^2 + qa_p'(1 + c_1 b_p') + c_0 b_p' a_p'$. Здесь a_p', b_p' - параметры объекта, а c_1, c_0 - параметры пропорциональной и интегрирующей частей регулятора. Параметры c_1, c_0 рассчитываются исходя из корней характеристического полинома, принадлежащих области качества.

Моделирование системы при параметрах внутреннего контура $a_p' \approx 100c^{-1}$, $b_p' \in [0, 200]$, $c_1 = 3$, $c_0 = 400c^{-1}$ и параметрах внешнего контура $a_{p1}' = 0$, $b_{p1}' \in [10]$, $c_{11} = 8$, $c_{01} = 80c^{-1}$ показывает, что динамические свойства системы незначительно отличаются от расчетных во всем диапазоне изменений параметров объекта. На рисунке 2, а - процесс расчетного внешнего контура 2 порядка, 2, б - двухконтурной системы.

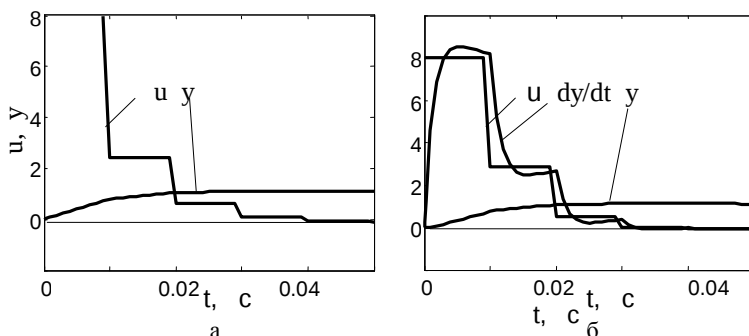


Рисунок 2

Таким образом, расчет параметров ПИ-регуляторов в многоконтурной системе должен начинаться от внешнего контура и основываться на технологических требованиях.

Следующим шагом является формулирование требований к электроприводу, в том числе по динамическим показателям и точности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фираго, Б. И. Регулируемые электроприводы переменного тока / Б. И. Фираго, Л.Б. Павлячик. - Мн. : Техноперспектива. 2006. - 363 с.
2. Опейко, О.Ф. Подчиненное управление объектом с параметрической неопределенностью / Системный анализ и прикладная информатика, №3, 2015. – с.21-24.
3. Jury, E.I. Inners and Stability of Dynamic Systems. /A Wiley-Interscience Publications, John Wiley & Sons. New York-London-Sydney-Toronto, 1974.

Ошейчик Н.И., Матвейчук Н.М. к. ф.-м. н.

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

АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ УРОВНЯ ВОДЫ ДВУМЯ НАСОСАМИ С ПЕРЕКЛЮЧАЕМЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ЧАСТОТЫ

Ключевые слова: насосная станция, насосный агрегат, регулирование, преобразователь частоты, двигатель.

Аннотация: В работе приведено обоснование применения преобразователя частоты при работе насосных станций и рассмотрен способ регулирования подачи воды путем каскадного включения двух насосных агрегатов с переключаемым между ними преобразователем частоты в зависимости от уровня воды в приемнике.

Введение. Насосные станции обычно работают в режимах, которые отличаются от режимов, первоначально заложенных в проект. Насосные агрегаты установлены с учётом максимального расхода, который возникает как при пиковых значениях потребления воды в утренние и вечерние часы, так и в экстремальной ситуации (например, пожар).

Если регулирование производительности насосных агрегатов не производится, при минимальном расходе в напорном трубопроводе возникает избыточное давление. Это вызывает:

- непроизводительные потери электроэнергии на создание избыточного давления;
- потери воды за счет избыточного расхода, утечек на негерметичных стыках;
- большие затраты на ремонт и замену электродвигателей, насосов и контактной аппаратуры в связи с необходимостью прямых пусков;
- затраты на устранение аварий трубопроводов в связи с избыточными напорами и гидроударами;
- низкое качество водоснабжения, которое выражается в неравномерном давлении и высокой вероятности отсутствия воды;
- избыточный расход воды населением за счет создания запаса на случай отключения подачи воды.

Эффективность насосного агрегата в рабочем диапазоне в основном определяется способом регулирования и характеристиками системы. При этом требуется, чтобы в рабочей точке достигался максимальный КПД агрегата. Если изменяется, например, расход или давление, тогда необходимо скорректировать механическую характеристику насоса или характеристики системы в целом. Рассмотрим с энергетической точки зрения те методы регулирования, которые чаще всего встречаются на практике.

Способы регулирования подачи воды:

1. Регулирование потока с помощью вихревых клапанов. Данные клапаны изменяют параметры потока жидкости на всасывающей стороне насосов. Благодаря результирующему изменению характеристики аппарата устанавливаются новые рабочие точки на характеристике системы (меньшие значения напора H и расхода Q). Однако при этом происходит снижение КПД установки.

2. Центробежные насосы регулируются изменением степени открытия задвижки (затвора) на напорной линии или изменением частоты вращения рабочих колёс. Этот способ регулирования, именуемый дросселированием, считается неэкономичным, так как на преодоление дополнительного гидравлического сопротивления в затворе требуются дополнительные затраты энергии.

3. Регулирование байпасом. С помощью байпаса отводится часть потока и возвращается на всасывающую сторону насоса. Этот способ регулирования подходит исключительно для осевых насосов и вентиляторов с повышающим количеством транспортируемой жидкости или воздуха.

4. Регулирование путем включения/ выключения (прерывистое регулирование). При таком регулировании изменение расхода обеспечивается коммутацией в гидросистему различного количества насосов. Недостатком такого регулирования является именно его прерывистость. Качество такого регулирования нельзя назвать удовлетворительным за счет его слишком грубой дискретности, а это потери энергии и перекачиваемой жидкости.

5. Регулирование путем изменения числа оборотов вала электропривода. Данное регулирование обеспечивает требуемую величину напора в системе без какого-либо снижения КПД электропривода. Это единственный способ, обеспечивающий минимально необходимый расход при оптимальном КПД привода.

Регулирование путем изменения числа оборотов вала электропривода. У преобразователей частоты есть два свойства, которые определяют преимущества их использования: возможность регулирования в широких пределах скорости двигателя и снижение пускового тока практически до номинального.

Применение регулируемого электропривода позволяет получить экономию энергии от 35 до 65%. Одновременно экономится вода до 15%. Сбережение энергии происходит путем устранения непро-

изводительных затрат в заслонах, дросселях и других регулирующих устройствах. При замене нерегулируемого привода, работающего в режиме периодических пусков/остановов, на регулируемый, исключаются потери на высокие пусковые токи за счет плавного пуска электродвигателя. Обороты электродвигателя могут плавно изменяться для обеспечения поддержания производительности насосного агрегата, требуемой в данный момент.

Использование регулируемого электропривода в системах водоснабжения позволяет изменять производительность насосов в соответствии с графиком водоразбора, что в свою очередь позволяет получить значительную экономию электроэнергии и воды, уменьшить количество аварий из-за разрывов трубопровода.

Применение в насосных агрегатах частотно-регулируемого электропривода даёт возможность использовать крупные насосные агрегаты в режиме малых подач и, следовательно, уменьшить их общее количество.

Сейчас широко распространен упрощенный способ каскадно-частотного регулирования, при котором преобразователь частоты управляет только одним насосом, а остальным по мере необходимости подает команды на пуск и останов. При пуске дополнительных насосов, их электродвигатели подключаются напрямую к сети.

Достоинствами такого способа являются – простота и надежность, а также минимальное количество оборудования для создания автоматизированной насосной станции.

Вместе с тем данному способу присущи весьма серьезные недостатки, такие как:

- появление гидроударов при пуске/останове дополнительных насосов;
- появление в электросети бросков напряжения, связанных с переходными процессами при пуске двигателей;
- невозможность поддержания точного давления в системе, флуктуации давления при включении или выключении дополнительных насосов.

Конечно, влияние описанных недостатков можно снизить. Во избежание гидроударов и бросков напряжения, можно применять устройства плавного пуска, однако это экономически целесообразно лишь при относительно больших мощностях двигателей. Качество регулирования давления также можно улучшить за счет усложнения алгоритма управления, реализуемого вычислителем данной системы. Однако все эти мероприятия связаны с дополни-

тельными финансовыми затратами, что приводит к потере привлекательности самой идеи.

Данных недостатков лишен такой способ управления, когда при невозможности обеспечить требуемую в данный момент производительность насосной станции одним насосом, в работу включается следующий, при этом первый насосный двигатель переключается напрямую на сеть, а вступающий в работу – выводится на рабочую частоту под управлением преобразователя частоты, по заданной пользователем кривой разгона.

Сказанное иллюстрируется упрощенным рисунком (рис. 1), на котором показаны – преобразователь частоты, устанавливаемая в него (при необходимости) дополнительная плата релейных выходов, и два двигателя, каждый из которых может в любой момент времени быть переключен на работу как от питающей сети, так и от частотного преобразователя.

Кроме того, использование в данной схеме специализированного преобразователя частоты, реализующий дополнительные сервисные функции – защиты, регулирование подачи по графику или по заданному расходу, позволяет существенно снизить затраты на модернизацию существующих насосных станций, а также упрощает и удешевляет сервисное обслуживание уже работающей насосной станции.

Также возможен способ управления, при котором все насосы снабжены своим собственным преобразователем частоты – это обеспечивает абсолютное отсутствие указанных выше недостатков, но требует существенных материальных затрат.

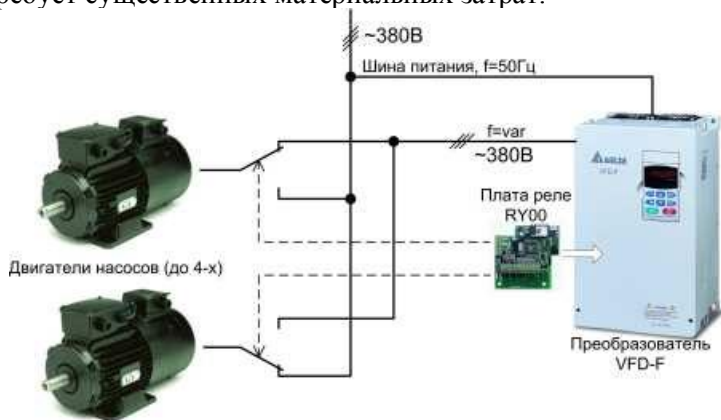


Рисунок 1 – Управление с помощью двух двигателей

Автоматизация насосной станции. Для исключения пуска насосного оборудования без воды, насосные комплексы оснащаются баками-накопителями и вакуум-насосами, которые заполняются жидкостью до пуска агрегатов. Возможен и вариант, когда насосное оборудование устанавливается ниже уреза воды, а всасывающая труба – выше агрегата.

Запуск насоса происходит при закрытой задвижке. При этом сопротивление жидкости незначительно. Когда механизм выходит в рабочий диапазон, задвижка открывается и обеспечивает необходимый уровень подачи воды. Отключение насоса влечет за собой закрытие задвижки.

В работе рассмотрим вариант насосного комплекса из двух агрегатов, регулировка которого осуществляется в зависимости от уровня воды в приемнике, а запуск агрегата происходит после его заполнения водой. Работа комплекса может осуществляться в ручном варианте при помощи управляющих кнопок. В автоматическом варианте активация системы происходит при понижении уровня жидкости в приемнике до минимального уровня. Электромагнитный клапан заливной линии срабатывает, и агрегат заполняется водой. После этого запускается электродвигатель, создающий давление в напорном патрубке. Благодаря созданному давлению открываются задвижки напорного трубопровода, приводимые в движение другим электродвигателем. Как только задвижки открыты, двигатель останавливается.

Основной агрегат продолжает работать и прогонять жидкость по системе. При малых расходах уровень поддерживает один насос, управляемый преобразователем частоты. Частотный преобразователь в зависимости от ошибки между заданным и реальным давлением в трубопроводе изменяет скорость вращения основного насоса в соответствии с ПИД-законом регулирования, тем самым косвенно влияя на давление в напорном трубопроводе. Если этого недостаточно, в поддержку основному насосу подключается дополнительный насос. При этом происходит переключение преобразователя частоты на электропривод второго насоса, в то время как двигатель первого насоса включается напрямую в сеть. При падении расхода дополнительный насос отключается от сети и в контуре регулирования остается только основной насос, управляемый от частотного преобразователя.

Они работают до момента достижения верхнего предела уровня и отключаются. Далее запускается двигатель, закрывающий задвижку напорного трубопровода. Как только задвижка вернулась в исходное состояние, переключатели занимают первоначальное положение. Система готова к запуску при следующем снижении уровня жидкости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лезнов Б. С. Частотно-регулируемый электропривод насосных установок. — М.: Машиностроение, 2013. — 176с.
2. Фурсенко, С.Н. Автоматизация технологических процессов : учеб. пособие / С.Н. Фурсенко, Е.С. Якубовская, Е.С. Волкова. — Минск: БГАТУ, 2007. — 592 с.
3. Якубовская, Е.С. Автоматизация технологических процессов сельскохозяйственного производства. Курсовое и дипломное проектирование : учеб. пособие / Е.С. Якубовская, С.Н. Фурсенко. — Минск: ИВЦ Минфина, 2016. — 312 с.
4. <http://www.rts.ua/rus/articles/619/0/42/>
5. http://www.privod.ru/products/pumps/pump_polezn4.htm

Павловский В.А.

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

ПРОЕКТИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ОБОРУДОВАНИЯ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕГО ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

Ключевые слова: Автоматизация, животноводство, нагрузка, асинхронные электродвигатели, вентиляторы, преобразователь частоты, энергосбережение

Аннотация. Загрузка до номинальных режимов работы электродвигателей приводов давно известный приём для сокращения потребления электроэнергии. Оказывается, этот приём актуален и в эпоху активного использования частотно-регулируемого электропривода. Рассматриваемый метод позволяет сократить потребление электроэнергии, капитальные вложения, при качественном выполнении технологического процесса.

Введение. Энергосбережение остаётся одним из актуальнейших направлений при автоматизации и роботизации технологических процессов в животноводстве. При дипломном и курсовом проектировании студентами особое внимание необходимо уделять проведению анализа различных вариантов выполнения технологического процесса с целью выбора наиболее энергоэффективного.

Широко известно, что при работе асинхронных электродвигателей на вентиляторную нагрузку применение частотно-регулируемого электропривода обеспечивает экономический эффект. Под вентиляторной нагрузкой подразумеваются вентиляторы и насосы, мощность для привода которых существенно увеличивается с увеличением частоты вращения. При обеспечении требуемой производительности вышеназванного оборудования изменением частоты вращения при помощи частотного привода обеспечивается значительное снижение потребляемой электроэнергии из сети, однако, не во всех режимах работы оборудования. Вопросы снижения коэффициента полезного действия при недостаточной загрузке машин известны достаточно давно [1]. В частности, при вращении рассматриваемых приводов на малых оборотах энергопотребление существенно, а производительность мизерна.

Рассмотрим возможные варианты изменения производительности системы принудительной вентиляции.

1) вентиляторы включаются позиционно.

Достоинства: дешевизна системы.

Недостатки: низкая точность поддержания необходимого воздухообмена (дискретность шага составляет производительность одного вентилятора), возникновение зон с различными температурами внутри помещения;

2) вентиляторы включаются позиционно, плавное регулирование осуществляется шибберными заслонками.

Достоинства: можно обеспечить высокую точность изменения производительности при небольших капитальных вложениях.

Недостаток: перерасход электроэнергии (излишняя мощность рассеивается на заслонках).

3) на каждый вентилятор устанавливается собственный частотный привод.

Достоинства: высокая точность поддержания регулируемой величины.

Недостатки: дороговизна частотного привода, потери электроэнергии при работе двигателя на малых оборотах (при работе на

малых оборотах КПД вентилятора существенно снижается по сравнению с работой в режиме, близком к номинальному).

4) устанавливается один частотный преобразователь на группу вентиляторов.

Достоинства: система дешевле по сравнению с установкой собственного частотного привода на каждый вентилятор.

Недостатки: ниже точность поддержания регулируемой величины по сравнению с индивидуальным регулированием вентилятора, и те же потери электроэнергии при работе двигателей вентиляторов на малых оборотах.

5) система, состоящая из нескольких вентиляторов, включаемых позиционно и одного с частотным приводом.

Достоинства: сочетание позиционного и непрерывного регулирования позволяют поддерживать высокую точность за счет непрерывного регулирования и высокий КПД за счет работы вентиляторов в номинальном режиме при позиционном управлении.

Рассмотрим варианты реализации системы, состоящей из нескольких включаемых позиционно вентиляторов и одного с частотным приводом. При самом простом варианте с одинаковой производительностью всех вентиляторов количество возможных комбинаций включения равно количеству вентиляторов. Если производительность каждой последующей ступени будет превышать предыдущую на половину производительности плавно регулируемой ступени, то регулируемая ступень будет находиться в приемлемом режиме загрузки.

Заключение. При проектировании систем управления с изменяющейся производительностью оборудования в широких пределах необходимо обращать внимание на загрузку оборудования до номинальных значений и есть смысл рассматривать вариант с комбинированием позиционного изменения управляющего воздействия при включении ступеней с двигателями, загруженными на номинальную мощность, с плавным регулированием частотным приводом отдельной ступени.

ЛИТЕРАТУРА

Кудрявцев, И.Ф. Вопросы снижения энергоемкости сельскохозяйственной продукции / И.Ф. Кудрявцев // Агропанорама – 2002. № 6. – С. 4-6.

Подобед М. Ю., ассистент, Карпович Д. С., доцент, к.т.н.
Учреждение образования «Белорусский государственный
технологический университет», Минск

БЛОК НЕЧЕТКОЙ СЕЛЕКЦИИ СИГНАЛОВ ОБРАТНЫХ СВЯЗЕЙ

Ключевые слова: Обратная связь, нечеткая логика, селекция сигналов

Аннотация. Наиболее распространёнными системами каскадного управления кондиционированием воздуха являются схемы с расположением нескольких датчиков температуры в контрольных точках помещения. При такой схеме управления контроллер вычисляет и обрабатывает усредненное значение температуры в помещении. Критический анализ систем управления с усреднением значений температур по нескольким каналам демонстрирует, что данный метод не всегда может адекватно оценивать распределенное температурное поле в помещении, и формирует предпосылки к применению методов селекции сигналов обратных связей.

При управлении температурой в помещении, очевидно, что чем больше предусмотрено точек контроля температуры, тем точнее и информативней будет рассчитанное среднее значение температуры. Но при большом количестве установленных в помещении датчиков температуры воздуха, чувствительность системы управления к локальным возмущениям снижается. Помимо этого для систем управления с усреднением значения температуры возможны такие режимы работы системы управления, при которых в одной части помещения возможен локальный недогрев воздуха, а в другой части — перегрев, в то время как усреднённое значение температуры останется в допустимом диапазоне. Выше изложенные факты и не только формируют предпосылки к селекции сигналов обратных связей, которая могла бы решить следующий ряд задач:

1) Обеспечение непрерывного мониторинга температурного поля в помещении;

2) Осуществление управления с учетом не только усреднённого значения температуры в помещении, но и с учетом значений отклонений температур от среднего;

3) Реализация гибких правил усреднения в зависимости от параметров объекта;

4) Улучшение динамических характеристик системы кондиционирования воздуха;

5) Практическая реализация и простота.

При наличии большого количества каналов измерения температуры и неопределенности правилах селекции результирующего сигнала обратной связи, целесообразным видится возможность синтеза блока селекции функционирующего по гибким правилам нечеткой логики.

В контур системы автоматического управления температурой в помещении необходимо встраивается блок нечеткой селекции (БНС), на вход которого подаются сигналы от датчиков температур на рабочих местах в помещении. Обработывая входные сигналы по нечеткому алгоритму, БНС формирует эквивалентный выходной сигнал обратной связи, который подается на вход регулятора температуры. БНС состоит из следующих основных элементов: блока фазификации, блока агрегатирования, блока активации, блока аккумуляции, блока дефазификации. Входными сигналами для БНС являются сигналы рассогласований по каждому каналу обратной связи.

Пример реализации БНС для помещения с четырьмя точками измерения температуры в помещении приведен на рисунке 1.

В зависимости от целей, преследуемых системой автоматического управления температурой в помещении, могут подвергаться изменению количества и формы функций принадлежности входных сигналов рассогласований, и выходного эквивалентного сигнала рассогласования, численные диапазоны значений функций принадлежности, правила нечеткого вывода и дефазификации.

Системы управления микроклиматов в помещении с применением БНС сигналов обратных связей позволяют, в зависимости параметров БНС, увеличить быстродействие, повысить чувствительность системы управления при большом количестве установленных в помещении датчиков, или достигнуть других полезных свойств.

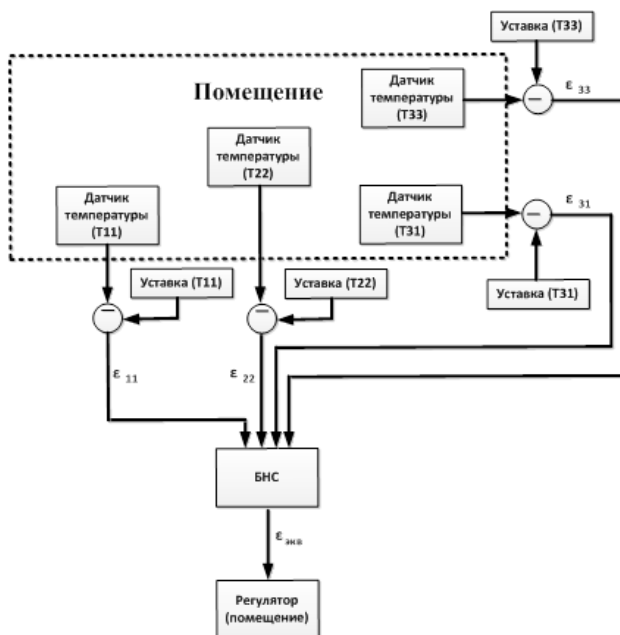


Рисунок — Структурная схема системы управления кондиционирование воздуха в помещении с БНС ε_{11} , ε_{22} , ε_{31} , ε_{33} — сигналы рассогласований в точках помещения; $\varepsilon_{экв}$ — эквивалентный сигнал рассогласования.

Подобед М. Ю., ассистент, Карпович Д. С., доцент, к.т.н.
*Учреждение образования «Белорусский государственный
технологический университет», Минск*

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА

Ключевые слова: Система кондиционирования воздуха, калорифер.

Аннотация. В большинстве систем кондиционирования воздуха (СКВ) центральное место занимают различного типа калориферные установки. При моделировании работы таких установок традиционно прибегают к упрощённому аппарату математического описа-

ния протекающих процессов теплопередачи. На самом же деле при рассмотрении работы калориферной установки по каналу “изменение расхода теплоносителя — температура воздуха” постоянная времени, и коэффициент передачи меняются в широком диапазоне, и могут оказывать существенные влияния на систему автоматического управления.

В калорифере системы кондиционирования воздуха процесс теплообмена сопровождается рядом особенностей: неоднородность распределения теплоносителя между рядами калорифера и трубками одного ряда, турбулентный характер движения теплоносителя в калорифере и воздуха при контакте с поверхностью калорифера, гидравлические особенности и д.р. Пренебрежение вышеперечисленными особенностями при математическом моделировании приточных систем кондиционирования воздуха могут внести существенные неточности, а для некоторых систем с высокой точностью поддержания параметров микроклимата, могут привести к фатальным ошибкам. Неадекватность математической модели калорифера может вывести исследователя на ложно синтезированную систему управления, с неоптимальными настройками регулятора.

В ходе работы были рассчитаны параметры модели калориферной установки для системы кондиционирования воздуха с учетом динамически изменяющихся коэффициентов передачи и постоянной времени объекта при различных температурных режимах. Зависимости постоянной времени и коэффициента передачи калорифера от расхода теплоносителя показаны на рисунках 1 и 2.

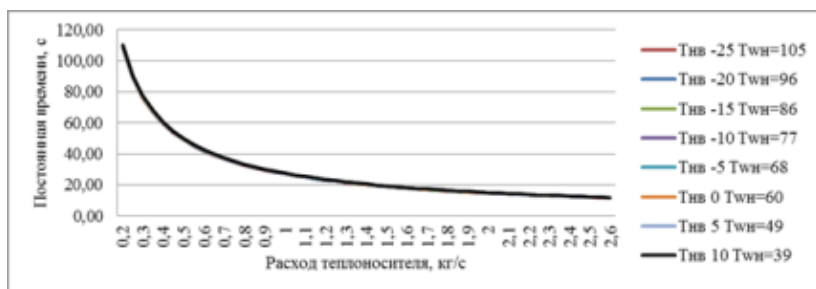


Рисунок 1 — Зависимость постоянной времени от расхода теплоносителя

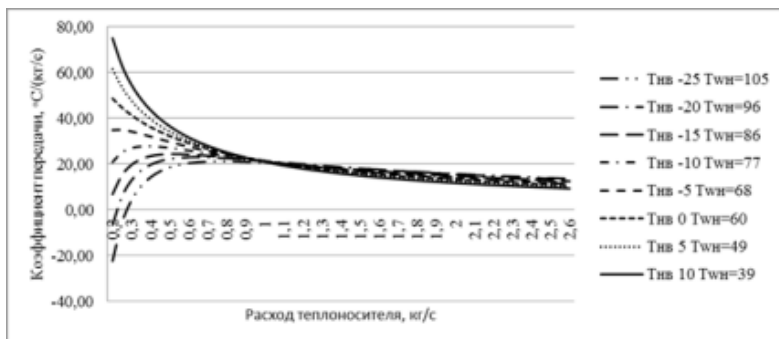


Рисунок 2 — Зависимость коэффициента передачи от расхода теплоносителя

В рабочем режиме эксплуатации постоянная времени калорифера может варьировать в диапазоне от 115 до 15 с, кривая изменения постоянной времени имеет неизменный характер для различных температурных режимов сред на входе в калорифер СКВ. Коэффициент передачи в рабочем режиме эксплуатации меняется в диапазоне от 50 до 9 °C/kg/c, причем, диапазон возможных изменений определяется не кривой, а областью границы которой определяются техническими параметрами калорифера и требованиями к безопасности.

Из результатов расчетов параметров работы калорифера можно сделать следующие выводы:

1) Коэффициент передачи и постоянная времени калорифера по каналу “расход теплоносителя — температура приточного воздуха” имеют явно нелинейный характер и меняются в широком диапазоне. Пренебрегать данными особенностями нельзя, особенно в тех случаях, когда математическая модель не носит концептуальный теоретический характер, а требуется практическая апробация на объекте с широким диапазоном регулирования теплопроизводительности системы;

2) В осенне-весенние периоды при минимальных протоках теплоносителя через трубки калорифера и минимальной его теплопроизводительности, инерционность калориферной установки может достигать инерционности обслуживаемого помещения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Автоматизация систем вентиляции и кондиционирования воздуха / Е. С. Бондарь [и др.] ; под ред. Е. С. Бондаря. — К. : Аванпост-Прим, 2003. — 562 с.

2. Сотников, А. Г. Автоматизация систем кондиционирования воздуха и вентиляции / А. Г. Сотников. — Л : Машиностроение, 1984. — 240 с.

Ржеуцкий В.Ю., Матвеев И.П., к.т.н., доцент
УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРАКТИЧЕСКИХ ЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММЫ PROTEUS

Ключевые слова: моделирование, схема управления, виртуальная электронная схема, водонагревательная система, сигнализатор уровня воды.

Аннотация: в работе спроектирована схема управления водонагревательной системой с использованием программы компьютерного проектирования Proteus v8, проверена работоспособность смоделированной схемы, создана модель платы будущего устройства с использованием 3D-визуализации.

В настоящее время большое значение приобрели методы математического моделирования и исследования электронных устройств на компьютере. 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 v8.

Proteus (by Labcenter Electronics) - симулятор принципиальных электронных схем. Основывается работа программы на моделях электронных составляющих. Proteus содержит большую библиотеку электронных компонентов. Если какие-то из моделей элементов и устройств не представлены в программе, их можно сделать самостоятельно. С помощью программы Proteus можно создать и проверить работу спроектированной электрической схемы. То есть можно заранее, виртуально, просмотреть результаты выполненной

работы и увидеть возможные ошибки до реализации проекта на физическом устройстве. В данной работе были спроектированы некоторые практические схемы: схема управления водонагревательной системой, сигнализатор уровня воды.

Схема управления водонагревательной системой представлена на рисунке 1. Она предназначена для регулирования воды в нагревателе. Когда температура воздуха возрастает, схема снизит температуру нагревателя. Операционный усилитель используется в схеме в качестве компаратора. Внешний термистор RV2 и вспомогательные резисторы R3 и R4 питают опорным напряжением инвертирующий вход операционного усилителя. Этот термистор RV2 размещается снаружи.

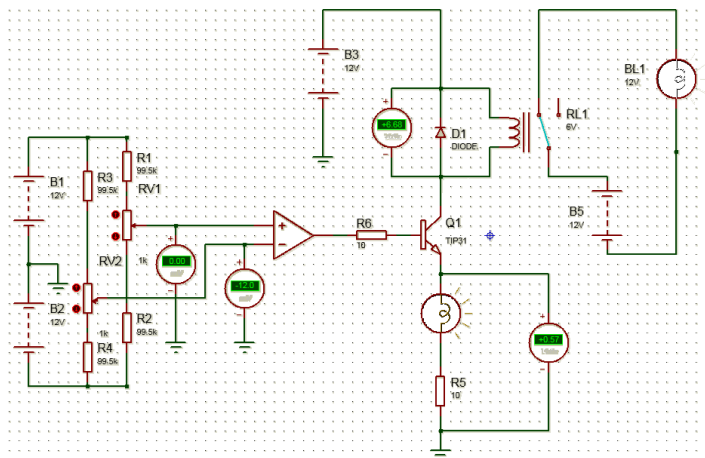


Рисунок 1 - Спроектированная схема управления водонагревательной системой

Термистор RV1 и вспомогательные резисторы R3 и R4 питают неинвертирующий вход операционного усилителя. Термистор RV1 размещается внутри нагревателя. Выходной сигнал операционного усилителя управляет транзистором Q1, работающим в ключевом режиме.

Когда логический сигнал на выходе операционного усилителя принимает высокий уровень, транзистор Q1 открывается (визуально это можно наблюдать при помощи лампы в цепи эмиттера), подавая напряжение на реле RL1. Контакты реле подключаются таким образом, чтобы при срабатывании реле нагреватель

отключался от сети питания. В схеме такое отключение визуализируется с помощью лампочки BL1.

Для контроля уровней напряжения при определении работоспособности схемы в процессе моделирования в различных частях схемы были подключены вольтметры. В реальной схеме они будут отсутствовать.

Таким образом, программа Proteus позволяет достаточно легко проектировать различные электронные схемы, подбирать и изменять типы и номиналы элементов для задания различных режимов работы схемы, проверять работоспособность спроектированных схем, а также создать модель будущего устройства, разместив элементы на плате, провести трассировку и увидеть макет устройства с использованием 3D-визуализации.

То есть с помощью программы Proteus возможно непрерывное проектирование электронных устройств: от идеи до реального устройства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Граф Р., Шиитс В. Энциклопедия электронных схем // М.: ДМК-пресс – 2010 – с.280.
2. Электронный ресурс: <http://fb.ru/article/206826/arduino-dlya-nachinayuschih-poshagovye-instruktsii-programmirovaniye-i-proektyirovaniye-arduino-s-chego-nachat>.

**Сеньков А.Г., к.т.н., доцент, Жур А.А., Лобач А.В., студент
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь**

МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПОТОЧНОЙ ЛИНИЕЙ ЭКСТРУДИРОВАНИЯ ЗЕРНА

Ключевые слова: цифровое управление, мехатроника.

Аннотация. В работе разработана функциональная схема микропроцессорной системы управления технологической линией экструдирования высокоусвояемого корма на основе бобовых культур и зерна кукурузы. На основе предложенной функциональной схемы разработан комплекс технических средств управления оборудованием линии экструдирования.

Современное производство кормов и кормовых добавок методом экструзии сопряжено с требованием обеспечения согласованного интеллектуального управления системой различных аппаратов для очистки исходных кормовых компонентов, их дозирования, смешивания, дробления, экструдирования, охлаждения, затаривания готового продукта [1, 2]. Система управления должна не просто поддерживать заданные параметры, например температуру, производительность и др., но и корректировать их в связи с наличием тех или иных условий, осуществлять архивацию важных параметров и аварийных событий и т.д. Придание системам управления интеллектуальных свойств позволяет в максимальной мере проявить эффективность современной автоматизации, проявляющаяся в снижении расхода дорогостоящих кормов и энергии на единицу продукции.

В данной работе предложена информационная структура системы управления поточной технологической линии экструдирования кормов (рис. 1). Комплекс технических средств, реализующий данную информационную структуру, представлен на рис. 2.

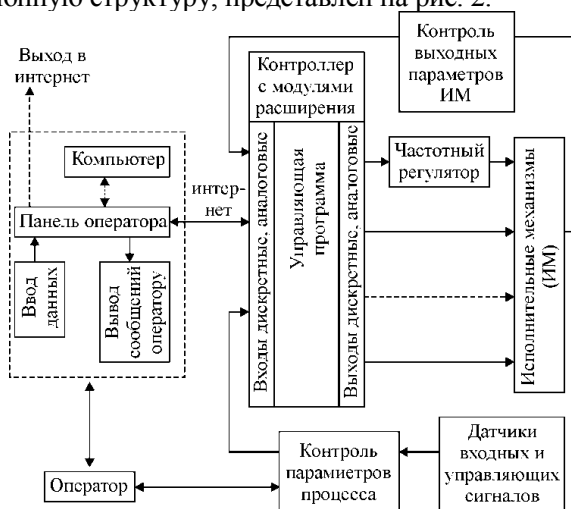


Рисунок 3 – Функциональная схема микропроцессорной системы управления линией экструдирования зерна

В качестве основы аппаратного комплекса выбран панель-контроллер 4PPC70 101G-20W с сенсорным дисплеем и набором распределенных модулей ввода/вывода дискретных и аналоговых

сигналов X20. Разработанный комплекс технических средств управления прошел экспериментальное апробирование на линии экструдирования кормов в СПК «Лучники» Слуцкого района.

Разработанный алгоритм управления технологическим оборудованием линии экструдирования обеспечивает работу линии в двух режимах – автоматическом и ручном (наладочном), а также автоматическое оповещение оператора об аварийных ситуациях и корректную остановку технологического процесса в данном случае. При этом разработанный алгоритм управления обеспечивает автоматическую подстройку системы под различные виды используемых зерновых компонентов с различной степенью засоренности исходного сырья, а также различной влажности, плотности и т.д. без дополнительного вмешательства обслуживающего (эксплуатирующего) персонала.



Рисунок 4 - Комплекс технических средств микропроцессорной системы управления технологическим процессом получения высокоусвояемого экструдированного корма на основе бобовых культур и зерна кукурузы

ЛИТЕРАТУРА

1. Остриков А.Н., Экструзия в пищевых технологиях. – 2004.
2. Афанасьев В.А. Теория и практика специальной обработки зерновых компонентов в технологии комбикормов. – Воронеж: Воронежский государственный университет, 2002. - 296 с.

**Сеньков А.Г., к.т.н., доцент, Мякинник Е.Е., магистрант,
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь**

АДАПТИВНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ КОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА КОРМОВОЙ ДОБАВКИ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЛИНИИ ЭКСТРУДИРОВАНИЯ

Ключевые слова: цифровое управление, мехатроника.

Аннотация. В работе предложен адаптивный алгоритм поддержания требуемого массового соотношения компонентов кормовой добавки, получаемой методом экструзии. Обеспечивается автоматическая адаптация зерноочистительного оборудования линии экструзии к различным видам используемого зернового сырья с различными механическими характеристиками.

Производство кормов и кормовых добавок методом экструзии становится все более распространенной технологией в области сельского хозяйства [1]. Экструзионное производство представляет собой систему различных аппаратов для очистки исходных кормовых компонентов, их дозирования, смешивания, дробления, экструдирования, охлаждения, затаривания готового продукта [1, 2]. Задачей автоматизации линии экструдирования является обеспечение максимальной производительности экструдера и требуемого качества производимого продукта.

Получаемая кормовая добавка состоит из двух компонентов, массовое процентное содержание которых p_1 , p_2 определяется технологическими требованиями и задается специалистом-технологом перед началом производства. Нории обеспечивают поочередную подачу порций исходных компонентов в сепаратор воздушно-решетный СВР-30, выполняющий очистку исходных зерновых компонентов от тяжелых, легких и пылевидных примесей. Далее конвейеры винтовые обеспечивают поочередную выгрузку порций из модуля сепарации и подачу их в бункер смесителя, установленный на электронных тензовесах.

Одним из основных требований к качеству производимой кормовой добавки является требование к точности ее компонентного

состава [3]. Для поддержания заданного массового соотношения компонентов смеси необходимо контролировать массы зерновых компонентов M_1 , M_2 при их очистке и подаче из зерноочистительной машины в бункер смесителя в соответствии с соотношением:

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{p_1}{p_2} = y. \quad (1)$$

Для этого необходимо своевременно, по сигналу тензосенсоров бункера смесителя прекращать подачу, соответственно, 1-го и 2-го компонентов смеси с выхода зерноочистительной машины в бункер смесителя. Практическая трудность реализации данного подхода заключается в том, что на решетном стане зерноочистительной машины и в шнеках подачи очищенного зерна в смеситель остаются некоторые массы m_1 , m_2 соответствующих компонентов после прекращения подачи компонентов на вход зерноочистительной машины. Таким образом, требуемое идеальное массовое соотношение компонентов смеси (1) на практике преобразуется к следующему виду:

$$\frac{M_1 + m_1}{M_2 + m_2} = w, \quad (2)$$

где значения m_1 , m_2 представляют собой случайные величины, математические ожидания которых будут зависеть от наименования используемых зерновых культур, их влажности, степени засоренности и т.д.

Как показывают экспериментальные данные, для различных зерновых культур (горох, кукуруза, соя) значения m_1 , m_2 могут колебаться в пределах от 10 до 30 кг, что при емкости бункера смесителя, например, 500 кг, может существенно влиять на процентный массовый состав смеси.

В данной работе предложено при автоматическом управлении зерноочисткой и смешиванием компонентов кормовой смеси оценивать значения m_1 , m_2 масс компонентов, задерживающихся внутри зерноочистительной машины вследствие описанного эффекта чистого запаздывания. Подачу зерновых компонентов на вход зерноочистительной машины следует прекращать заблаговременно с учетом оценок значений m_1 , m_2 . Значения m_1 , m_2 программно корректируются управляющим контроллером после очередного замеса по формуле:

$$m_{1,i+1} = m_{1,i} + k \cdot \tilde{M}_{1,i} - M_1 - m_{1,i} ,$$

$$m_{2,i+1} = m_{2,i} + k \cdot \tilde{M}_{2,i} - M_2 - m_{2,i} ,$$
(3)

где $\tilde{M}_{1,i}$, $\tilde{M}_{2,i}$ - реальные значения зерновых компонентов, поданные в бункер смесителя при i -м замесе;

$k \in 0;1$ - коэффициент обучаемости.

Программная реализация предложенной модели прошла экспериментальное апробирование на линии экструдирования кормов в СПК «Лучники» Слуцкого района. Эксперименты показали высокую точность поддержания массового компонентного состава кормовой смеси: отклонения от требуемого процентного соотношения компонентов не превышали 1% по абсолютной величине. При этом разработанный алгоритм управления обеспечивает автоматическую подстройку системы под различные виды используемых зерновых компонентов с различной степенью засоренности исходного сырья, а также различной влажности, плотности и т.д. без дополнительного вмешательства обслуживающего (эксплуатирующего) персонала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Остриков А.Н., Экструзия в пищевых технологиях. – 2004.
2. Афанасьев В.А. Теория и практика специальной обработки зерновых компонентов в технологии комбикормов. – Воронеж: Воронежский государственный университет, 2002. - 296 с.
3. Технологический регламент на производство экструдированного зерна: Регламент // ФГБОУ ВПО Красноярский государственный аграрный университет, Министерство сельского хозяйства и продовольственной политики Красноярского края. 2014.-38 с.

**Сырокваш Н.А., ст. преподаватель,
Клинцова В.Ф., ст. преподаватель
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», г. Минск**

РОЛЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИИ

Ключевые слова: информационные технологии, энергосбережение, энергосберегающие технологии, инновационные программы

Аннотация. В статье рассмотрены современные направления и перспективы использования энергосберегающих технологий с использованием информационных технологий.

Информационные технологии, связанные, прежде всего, с использованием современной компьютерной техники и средств сбора и передачи данных, открывают новые возможности при решении вопросов энергосбережения. Имеющийся в нашей стране опыт разработки и внедрения программ и программных комплексов для тепло- и электроснабжающих предприятий на десятках экономических объектов по всей территории Беларуси убедительно показывает, что значительным энергосберегающим эффектом обладает компьютеризация расчетов с потребителями энергии. В значительной степени это связано с дисциплинирующим фактором, возникающим в процессе компьютеризации учета и сопровождающим взаимоотношения поставщика и потребителя. Компьютеризация расчетов с потребителями открывает практическую возможность перехода на новые современные формы расчетов, такие, как использование предварительной оплаты, проведение гибкой тарифной политики и т.д. В отличие от других направлений, компьютеризация не требует значительных материальных вложений, а имеющиеся в настоящий момент невысокие цены на средства вычислительной техники и соответствующее программное обеспечение (ПО) позволяют развивать это направление практически всем энергоснабжающим предприятиям. Центральной точкой приложения информационных технологий станет формирование современ-

ной, адаптивно меняющейся инфраструктуры информационно-технологического обеспечения энергетических сетей, направленной на оптимизацию всех стадий и функций управления взаимосвязанными процессами генерации, потребления и консервации электрической энергии на всех уровнях масштабирования, начиная от долгосрочного планирования и кончая автоматическим мониторингом и диспетчированием в реальном времени [1].

Обобщая вышесказанное, мы предлагаем внедрить корпоративные информационные технологии. Сначала следует отметить, что основная цель разработки информационной системы – информационная поддержка принятия решений в энергосбережении. Речь идет о комплексах мероприятий, охватывающих все этапы передачи и использования энергетических ресурсов от мест выработки до потребления [2].

Так же очень много программных продуктов в области информационных технологий для энергосбережения разрабатываются и выпускаются. Так, например, информационный комплекс E-Net предназначен для решения задач автоматизации энергоучета и контроля состояния технологического оборудования системы электро-снабжения промышленных предприятия и электрических сетей. Основными достоинствами системы являются: отображение паспортных данных объектов в электронных версиях типовых; в системе применяются методы, позволяющие повысить корректность и достоверность, а значит и актуальность информации по объектам и паспортных данных по технологическому оборудованию; схема электрической сети отображается и редактируется на топографических картах; быстрый доступ к достоверным данными их обработке; автоматическое формирование паспортов подстанций; гибкая настройка интерфейса системы для работы с большим количеством объектов и т.д.

Одним из инновационных комплексов программного обеспечения является «АРМ для управления энергосбережением»

Исходной информацией для работы ПО АРМ являются данные по энергопотреблению, выпуску продукции, качеству сырья, загрузке оборудования и другие факторы, влияющие на удельные энергозатраты. Информация накапливается в реляционной системе управления базами данных (СУБД), и на ее основе рассчитываются лимиты расхода ТЭР в функции влияющих факторов. Эти лимиты

являются критериями рациональности энергозатрат. С течением времени лимиты обновляются на основе новых статистических данных, тем самым учитывая изменения в процессе производства, и оценка рациональности энергозатрат ведется «от достигнутых результатов».

По результатам внедрения на предприятии срок окупаемости ПО АРМ составляет 8 месяцев. По сравнению с периодом до установки программы экономия ТЭР относительно удельных статистических лимитов составляет:

- в первый год – 9-10%;
- во второй год – около 12%;
- в третий – около 17%.

Природа эффекта в следующем. Доступ к информации возможен на всех уровнях. С помощью программы анализируются причины непроизводственных энергозатрат, вырабатываются и контролируются регламент загрузки оборудования и т.п. То есть ПО АРМ является «инструментом» и одновременно стимулом энергосбережения, позволяет увидеть его резервы и оценить фактический эффект энергосберегающих мероприятий. ПО АРМ особенно эффективно для предприятий, на которых сформирована специальная служба энергосбережения, укрупненный контроль рациональности энергозатрат и все виды анализа, занимает не более 3 месяцев на одно предприятие.

Роль информационных технологии неоспорима велика. Они открывают новые возможности при решении вопросов энергосбережения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гуриев, М. Н. Реальная энергоэффективность и информационные технологии / М. Н. Гуриев // Информационные ресурсы. – 2014. - №5.
2. Коровкин, С. Д. Корпоративные информационные технологии в энергосбережении [Электронный ресурс] / С. Д. Коровкин. – Режим доступа: <http://www.nice.nnov.ru/Ru/seminar/seminar4/tezis/2/iv4.htm>.

Турченик Е.А., Якубовская Е.С.
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь

АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ МИКРОКЛИМАТОМ ИНКУБАЦИОННОГО ШКАФА КАК СПОСОБ ТОЧНОГО ПОДДЕРЖАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Ключевые слова: инкубация яиц, технологические параметры, микропроцессорная система управления

Аннотация. Повысить выводимость цыплят в инкубационном шкафу можно только при условии точного поддержания параметров. Такими параметрами являются температура, влажность, содержание углекислого газа. Микропроцессорная система управления должна обеспечить связанное управление этими параметрами в соответствии с периодом инкубации.

Успешность промышленного птицеводства определяется качеством цыплят. Инкубация яиц позволяет в любые сроки и в любом объеме получать молодняк птицы. Изобретение инкубаторов позволило поставить производство продукции птицеводства на промышленную поточную основу. Однако получить высокий процент выводимости цыплят в инкубационных шкафах можно только при условии точного соблюдения всех технологических требований.

Наиболее сильно влияет на результаты инкубации температура воздуха [1, с. 297]. При постоянном в течение инкубации периода воздействии вывод цыплят можно получить при температуре от 35,6 до 39,7 °С. Результаты инкубации (% вывода и качество молодняка), крайне низкие на границах указанного интервала, быстро улучшаются при приближении температуры к среднему значению.

Показатели влажности при инкубации не менее важны, чем температурный режим. Отрицательное влияние относительной влажности воздуха на результаты инкубации прослеживаются в том случае, когда на всём протяжении эмбрионального развития действующее значение параметра ниже 40% (низкая влажность) или выше 70% (высокая влажность). При высокой относительной влажности воздуха увеличивается, прежде всего, опасность плесневого поражения инкубационных яиц. Низкая влажность воздуха в начале инкубации вызывает большие потери воды яйцами и по-

вышает смертность зародышей. Наклёв и вывод начинаются преждевременно.

Третий значимый технологический параметр – это содержание углекислого газа. При постоянном на всём протяжении инкубационного периода воздействии концентрации углекислого газа, превышающих 0,5%, угнетается рост и развитие эмбрионов. Выводимость снижается примерно на 15%, если с первого дня инкубации поддерживать концентрацию CO_2 на уровне 1% (контроль — 0,3%). При 5% CO_2 смертность эмбрионов достигает 100%.

Для поддержания требуемых параметров микроклимата в инкубаторе предусмотрены системы обогрева, охлаждения и увлажнения. Эффективной системы охлаждения добиваются за счет открытия заслонок верхних и боковых отверстий инкубатора. Нагрев обеспечивают с помощью электронагревателей. А выравнивание температурного поля обеспечивает постоянно работающий при закрытых дверях вентилятор. Увлажнение обеспечивается с помощью турбувлажнителя. При этом холодная вода, разбрызгиваемая на лопасти вентилятора также обеспечивает охлаждение. Точности поддержания температуры можно добиться при использовании нескольких групп нагревателей. Однако требование высокой точности поддержания температурных режимов (в зависимости от периода инкубации) требует плавного изменения напряжения. Подаваемого на нагреватели. Технически осуществить данное требование позволяет использование теристора в цепи питания нагревателей.

Таким образом, добиться точности поддержания параметров в инкубационном шкафу позволит микропроцессорная система управления, которая по сигналам датчиков температуры, влажности и содержания углекислого газа будет взаимосвязно управлять нагревателями, системой охлаждения и увлажнения. Причем также следует управлять этими устройствами с учетом изменения связанных технологических параметров в соответствии с периодом инкубации.

ЛИТЕРАТУРА

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.

Шибун А.В., Якубовская Е.С.
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь

АЛГОРИТМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫМ РЕЖИМОМ В АНГАРНОЙ ТЕПЛИЦЕ

Ключевые слова: теплица, параметры микроклимата, контроллер, алгоритм управления

Аннотация. Значимый параметр микроклимата в теплице - температура. Заданное значение температуры зависит от вида выращиваемой культуры, стадии ее развития и меняется в течение суток. Поддерживать оптимальное значение температуры в теплице позволит использование контроллера, реализующего заданный алгоритм управления с переменным значением уставки температуры.

В условиях эффективной эксплуатации тепличного хозяйства значимым является точное обеспечение параметров микроклимата в теплице при условии полного учета влияющих факторов. Оптимальное значение температуры воздуха в теплице зависит от многих факторов и в первую очередь от выращиваемой культуры, стадии ее развития и уровня освещенности растений. С учетом сложности взаимосвязи параметров микроклимата в теплице и их изменения во времени разработаны принципы и программы управления климатом теплиц в течение суток у вегетационного периода культур [1, с. 262]. На рис. 1 представлен график изменения температуры и влажности воздуха в теплице в течение суток. В ночное время суток температура $\Theta_{1в}$ поддерживается постоянной. За час до восхода солнца температура в теплице повышается до величины $\Theta_{2в}$, подсушивается воздух, и с восходом солнца вода не конденсируется на растениях и плодах, а начинается нормальный процесс фотосинтеза. В переходном режиме массивные части растения прогреваются медленно – отсюда опасность конденсации на них влаги и заболевания растения. Поэтому, если при переходе от ночного к дневному уровню температур не подсушивается воздух, скорость изменения температуры не должна превышать 6°C в час.

Если погода пасмурная, то в течение всего светового дня поддерживается температура $\theta_{3в}$, равная температуре $\theta_{2в}$. В солнечную погоду, начиная с освещенности 2 000 лк, повышают температуру в соответствии с величиной освещенности до температуры $\theta_{4в}$. После этого открывают вентиляционные фрамуги, и избыток тепла уходит благодаря вентиляции. В соответствии с увеличением освещенности и температуры в теплицах снижают температуру нагревательных элементов.

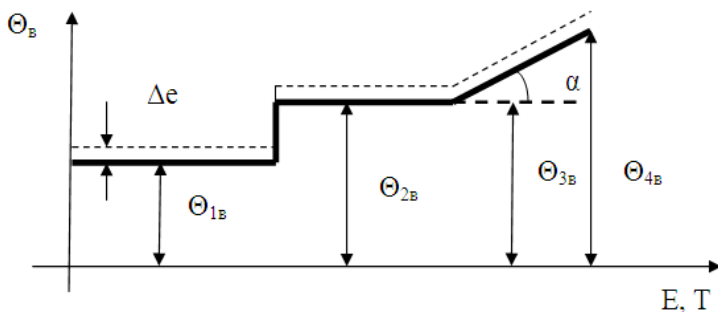


Рис. 1. График поддержания температуры воздуха θ_v в теплице в течение суток с учетом освещенности E и времени суток T

Таким образом, в течение суток меняется заданная температура воздуха в теплице, а в течение светового дня это заданное значение температуры определяется еще и уровнем освещенности. Реализовать такое управление можно только на базе современного программируемого контроллера, который будет отслеживать показания датчиков температуры и освещенности, программно изменять заданную уставку температуры, сравнивать с ней измеренное значение и управлять исполнительными механизмами (клапаном отопления, механизмами фрамуг).

Таким образом, из-за часто изменяемого периода роста культуры и их смены, приходится изменять параметр уставки температуры. Реализовать такое решение поможет человеко-машинный интерфейс, который сможет отображать показания все датчиков, состояние исполнительных механизмов, а также изменять параметр уставки температуры.

Таким образом, нормальное поддержание температурного режима в теплице требует сложного алгоритма управления исполни-

тельными механизмами с переменным значением уставки температуры. Такой алгоритм может быть обеспечен современным контроллером (например, фирмы Siemens S7-1200 с подключаемой панелью оператора, которая обеспечит визуальный контроль параметров микроклимата в теплице).

ЛИТЕРАТУРА

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.

Якубовская Е.С.

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

ПРОВЕРКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДИКИ ФОРМИРОВАНИЯ ИННОВАЦИОННО-ПРОЕКТНОЙ КОМПЕТЕНТНОСТИ БУДУЩЕГО ИНЖЕНЕРА ПО АВТОМАТИЗАЦИИ

Ключевые слова: инженер по автоматизации, инновационно-проектная компетентность, методика формирования, критерии, эффективность

Аннотация. Изменение требований к специалисту по автоматизации обуславливает необходимость поиска эффективной методики подготовки инженера по автоматизации. Формирование инновационно-проектной компетентности будущего инженера автоматизации осуществляется поэтапно. Проверка эффективности методики формирования инновационно-проектной компетентности будущего инженера автоматизации проводилась согласно выявленным критериям с помощью экспертной оценки.

На сегодняшний день определена приоритетная цель развития промышленного комплекса Республики Беларусь – формирование конкурентоспособного инновационного промышленного комплекса (в том числе агропромышленного комплекса), увеличение вы-

пуска соответствующей мировым стандартам продукции и наращивание экспортного потенциала [1]. Достичь данной цели можно при условии внедрения экспортоориентированных высокотехнологичных производств, обеспечения снижения материало- и импортоемкости продукции, перехода на энерго- и ресурсосберегающие экологически безопасные технологии производства. В этих условиях многократно возрастает роль инженера, как инициатора инновационных процессов по обеспечению повышения качества продукции и снижению трудовых, ресурсных и энергозатрат, проектированию и внедрению высокотехнологичных автоматизированных производств.

Формирование инновационных умений определяется также уровнем овладения технологией современного инженерного проектирования в процессе подготовки в университете и специальной методикой подготовки будущего инженера по автоматизации к профессиональной деятельности в условиях инновационного развития производства.

Предусмотрено несколько этапов формирования инновационно-проектной компетентности. На подготовительном этапе обеспечивается пооперационное освоение технологии инженерного проектирования, реализующего задачи инновационного характера (в рамках освоения материала специальных дисциплин). Здесь важно показать последовательность решения задач проектирования технических систем с учетом инновационности их разработки. На основном этапе формирования инновационного компонента проекторочной деятельности обеспечивается развитие профессиональной самостоятельности в вопросах модифицирующего проектирования через систему разноуровневых заданий на курсовое проектирование и ориентировочные алгоритмы действий, организацию деятельности по коллективному решению наиболее сложных задач инженерного проектирования. На заключительном этапе обеспечивается формирование умений применения технологии в системно-модифицирующем проектировании и по времени охватывает дипломное проектирование.

Однако, проверка эффективности методики формирования инновационно-проектной компетентности также проводилась поэтапно. Сперва методика проверялась в рамках проведения дипломного проектирования. Однако не позволила вывести на высокий иннова-

ционный уровень (рисунок 1). Затем вводились изменения на этапе организации курсового проектирования по специальным дисциплинам. Когда методика формирования инновационно-проектной компетентности была применена на всех этапах, произошло значительное увеличение инновационного уровня проекта.

Для оценки эффективности методики формирования профессиональной компетентности, обеспечивающей инновационный компонент проектировочной деятельности инженера по автоматизации, на этапе защиты дипломных проектов экспертам (которыми выступали члены государственной экзаменационной комиссии и рецензенты) было предложено оценить инновационный уровень дипломных проектов в соответствии со следующими характеристиками: высокий – актуальность темы, наличие новационной идеи, использование результатов НИРС в проекте, наличие публикаций, использование САПР и ИКТ, полнота технического решения, практическая значимость и возможность реализации проекта, наличие акта внедрения; выше среднего – актуальность темы, наличие новационной идеи, использование результатов НИРС в проекте, использование САПР и ИКТ, практическая значимость проекта; средний – актуальность темы, техническая идея модифицирует типовое решение проблемы, техническое решение реализовано современными техническими средствами, в целом проект может быть реализован; ниже среднего – техническая идея повторяет типовое решение, но реализовано на базе современных технических средств; низкий – в части новизны выбора решения проблемы и реализации в технических средствах полностью повторяет типовое решение.

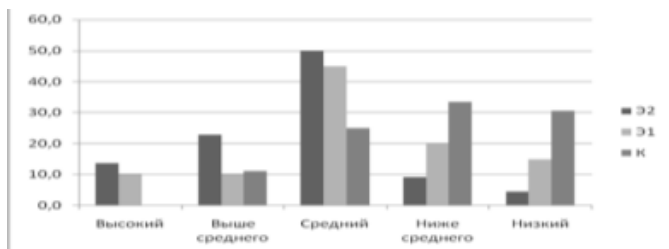


Рис. 1. Экспертная оценка инновационного уровня дипломного проекта на последнем этапе эксперимента (в процентах от общего количества дипломников): Э2 и Э1 – экспериментальные группы; К – контрольная группа

Закключение. Изменение социально-экономических условий потребовало усиления инновационной составляющей в рамках подготовки современного инженера по автоматизации и, следовательно, пересмотра содержания профессиональной подготовки и методики формирования инновационно-проектной компетентности. Экспертная оценка показала эффективность методики формирования инновационно-проектной компетентности при условии ее поэтапного включения в образовательный процесс.

ЛИТЕРАТУРА

1. Программа развития промышленного комплекса Республики Беларусь на период до 2020 года: утверждена Постановлением Совета Министров Республики Беларусь 5.07.2012 г. №622, зарегистрирована 24 июля 2012 г. №5/35993

Якубовская Е.С., Бородина М.И.,
УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь

ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ МАСЛОИЗГОТОВИТЕЛЕМ С ПОМОЩЬЮ КОНТРОЛЛЕРА

Ключевые слова: маслоизготовитель, контроль параметров, контроллер, преобразователь частоты

Аннотация. Процесс сбивания масла достаточно сложный и требует контроля многих параметров. На основании измеренных значений технологических параметров контроллер реализует алгоритм управления основным оборудованием. Поддерживая частоту сбивателя по сигналу загрузки его электродвигателя с помощью преобразователя частоты можно обеспечить решение задачи энергосбережения в процессе изготовления масла.

В современных экономических условиях важную роль приобретают безотходные, малоотходные и энергосберегающие технологические процессы и автоматизация как отдельных аппаратов и агрегатов, так и в целом технологических производств.

Для выработки масла методом сбивания используют маслоизготовители периодического и непрерывного действия (рисунок 1).

Процесс в маслоизготовителе непрерывного действия происходит следующим образом. Сливки из сливоксозревательного резервуара через уравнильный бак винтовым насосом подаются в цилиндр маслоизготовителя. Образовавшееся масляное зерно с пахтой поступает в первую камеру обработника, где зерно подвергается первой промывке и механической обработке шнеками. Пахта отделяется от масляного зерна в бак для пахты и далее насосом подается для дальнейшей переработки. Масляный пласт образуется в первой камере обработника. Во второй камере происходят окончательная промывка и дальнейшая обработка масляного зерна. В третьей камере вакуум-насосом создается разрежение для удаления воздуха. Далее масло продавливается через решетки с мелкими отверстиями, между которыми установлены ножи для перемешивания пласта масла. Масло, выходящее из насадки маслоизготовителя, по транспортеру направляется на фасовку и упаковку. Для дозирования масла имеется насос-дозатор.

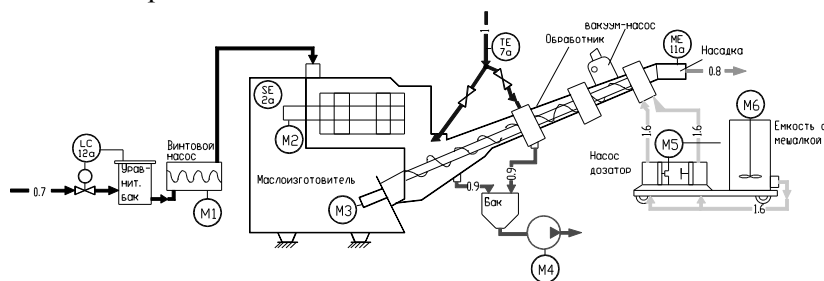


Рис. 1. Конструкция маслоизготовителя

Процесс сбивания масла достаточно сложный и требует контроля многих параметров: уровня по технологическим емкостям, температуры охлаждающей воды, влажности масляного зерна на выходе, загрузки привода сбивателя. При этом раз линия поточная, то включение оборудования должно вестись обратного хода продукта, а останов по ходу. Такой сложный алгоритм работы можно реализовать только с помощью микропроцессорного устройства управления.

Кроме того, с целью обеспечения энергосбережения по загрузке маслоизготовителя следует устанавливать частоту вращения сбивателя. Для этого следует использовать преобразователь частоты, на который управляющий сигнал будет подавать контроллер по токовому сигналу. В данном контуре должен быть реализован закон плавного регулирования. При этом для определения параметров настрой-

ки регулятора, которым выступает контроллер, следует досконально проработать модель маслоизготовителя как объекта автоматизации.

Таким образом, совместное использование контроллера и преобразователя частоты обеспечивает решение сложной задачи обеспечения энергосбережения в процессе сбивания масла, при условии настройки параметров регулирования.

Якубовская Е.С., Булыга П.И.,
УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь

АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ВЫТЯЖНОЙ ВЕНТИЛЯЦИЕЙ В ПТИЧНИКЕ КАК СПОСОБ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

Ключевые слова: микроклимат, птичник, воздухообмен, контроллер, преобразователь частоты

Аннотация. Значимым параметром микроклимата в птичнике является температура. Обеспечить ее оптимальное значение позволяет использование эффективной системы воздухообмена. Использование микропроцессорной системы управления позволяет по показаниям датчиков температуры, установленных в нескольких местах птичника, передавать сигнал к преобразователю частоты, устанавливающему скорость вращения вентиляторов системы воздухообмена, что позволяет обеспечить энергосбережение.

Так как теплообмен и теплорегуляция у птицы взаимообусловлены, то температура, как один из основных факторов микроклимата, играет важную роль при этих процессах. При изучении влияния пониженных температур воздуха на яйценоскость кур в зимнее время установлено [1, с. 274], что при средней дневной температуре воздуха минус 4 °С яйценоскость кур снижается на 0,47 яйца на несушку. Температура минус 10°С способствует резкому снижению яйценоскости кур. При установлении нормальной температуры (16–18 °С) яйценоскость кур восстанавливается в течение трех–десяти дней. При температуре воздуха в птичнике плюс 38–40 °С наблюдается гибель кур от перегрева. Таким образом, от системы автоматического управления микроклиматом тре-

буется поддержания оптимальной температуры воздуха в помещении на протяжении всего периода содержания.

Рассмотрим варианты управления воздухообменом (вытяжная вентиляция) в птичнике в теплое время года с учетом особенностей температурного режима содержания кур.

Для плавного регулирования изменения воздухообмена в последнее время широко используются преобразователи частоты. Однако, задача поддержания температуры в птичнике в теплый период осложняется тем, что нередко наблюдается перекося температурных полей, а даже незначительное превышение температуры после границы в 30 °С значительно влияет на самочувствие птицы [2, с. 476]. В этих условиях помимо преобразователя частоты для реализации управления требуется использовать современные микропроцессорные устройства.

С помощью контроллера и преобразователя частоты можно реализовать несколько вариантов управления температурным режимом в птичнике. Используя дискретные выходы контроллера для связи с дискретными входами преобразователя (5 входов), можно обеспечить многоступенчатое изменение воздухообмена. Однако более приемлемым является алгоритм, когда наибольшее значение температуры будет поступать на блок ПИД-регулирования (в программе контроллера), что позволит сформировать величину сигнала на выходе плавного регулирования модуля расширения, связанного с входом 0-10 В преобразователя частоты. В этом случае дискретные выходы контроллера освобождаются для реализации управления системой увлажнения или охлаждения.

Таким образом, совместное использование контроллера и преобразователя частоты обеспечивает решение сложной задачи поддержания температурного режима в птичнике в теплый период, обеспечивая высокую точность при достаточной простоте программирования и настройки, а также обеспечивает снижение энергопотребления за счет точного поддержания скорости вращения вентиляторов (требуемого воздухообмена) в зависимости от значения температуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бородин, И.Ф. Автоматизация технологических процессов / И.Ф. Бородин, Ю.А. Судник - М.: Колос, 2003. – 344 с.
2. Фурсенко, С.Н. Автоматизация технологических процессов: учеб. пособие / С.Н. Фурсенко, Е.С. Якубовская, Е.С. Волкова. — Минск: БГАТУ, 2007. — 592 с.

**Якубовская Е.С., Журович А.С.,
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь**

АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫМИ РЕЖИМАМИ ПРИ СУШКЕ ЗЕРНОВЫХ

Ключевые слова: контроллер, зерно, сушка, температурный режим, система автоматического управления и регулирования

Аннотация. Температурный режим при сушке зерновых определяется видом и типом зерновой культуры. При поддержании выходной влажности зерна на уровне 14% следует устанавливать скорость выгрузки, определяемой температурой зерна в точке наибольшего нагрева. Микропроцессорная система управления должна обеспечить связанное управление этими параметрами в соответствии с типом и видом зерновой культуры.

Для получения продовольственного и семенного зерна высокого качества, параметры процесса сушки необходимо выбирать с учетом ряда факторов: как биофизических свойств зерна (вида и типа зерновой культуры, начальной его влажности и температуры), так и технологических показателей процесса сушки (начальной и конечной температуры и влажности теплоносителя, загрузки и экспозиции сушки зерна в сушилке и др.) [1, с. 233].

Для обеспечения качественного процесса сушки семенного, продовольственного, фуражного зерна температура его нагрева не должна превышать заданных значений [2, с. 21]. Согласно Госстандарта на продовольствие и семенное зерно, его влажность при хранении и транспортировке должна быть не более 14%, для однолетних бобовых трав 16%, однолетних злаковых трав 15% [3, с. 15]. Отклонение температуры теплоносителя от установленного режима должно быть не более $\pm 5\%$. Съем влаги за один проход через зерносушилку не должен превышать 6% для зерновых и 3...4% для бобовых культур, а также для кукурузы, риса, проса и гречихи. Температура зерна, вышедшего из охладительных колонок, не должна превышать температуру наружного воздуха более чем на 10...15%.

Поток зернового материала должен подаваться в сушильные шахты. В сушильных шахтах для обеспечения рационального ре-

жима работы должен поддерживаться необходимый уровень зерна. Разгрузочное устройство шахт непрерывного действия может вступать в работу при достижении максимального уровня материала в шахтах и должно отключаться при достижении минимального уровня. Согласно агротребованиям, необходимо поддерживать требуемый температурный режим в шахте. Это можно осуществить регулированием скорости прохождения материала через шахту, либо температурой теплоносителя. В данном случае применяем второй из указанных способов. Таким образом, не допустить перегрева материала можно, фиксируя температуру нагрева и скорость выгрузки из шахты. В процессе сушки необходимо обеспечить требуемую влажность материала. Поэтому в зависимости от конечной влажности необходимо подавать материал на повторную сушку (через промежуточный бункер), либо на дальнейшую очистку.

Таким образом, измеряемыми величинами являются уровень материала в шахтах и охладительных колонках; температура нагрева материала в топках наибольшего нагрева шахт; температура теплоносителя; конечная влажность материала.

Регулирование температуры нагрева производится изменением температуры теплоносителя, согласно ПИ-закона регулирования. Регулирование температуры теплоносителя можно осуществить через контроллер с помощью исполнительного механизма, регулирующего подачу топлива. При этом заданное значение температуры определяется в контроллере в зависимости от выбранного вида зернового материала. Также необходимо контролировать влажность материала для разделения его потока посредством перекидного клапана, который требуется установить после промежуточной нории (на досушку либо на последующую очистку).

Таким образом, контроллер по измеренным значениям температуры зерна в шахте, его выходной влажности должен обеспечивать управление скоростью выгрузки и температурой теплоносителя в зависимости от заданного типа и вида зерновой культуры.

ЛИТЕРАТУРА

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.
2. Малин, Н.И. Справочник по сушке зерна. — М.: Агропромиздат, 1991. — 381 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

Протосовицкий И.В., к.т.н., доцент УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь ИСТОРИЯ СТАНОВЛЕНИЯ АГРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА - 60 ЛЕТ	3
Полещук Л.Л., заместитель начальника, Главное управление технического прогресса и энергетики, государственного надзора за техническим состоянием машин и оборудования (Главгостехнадзор), Минск, Республика Беларусь ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЭНЕГОСБЕРЕЖЕНИЯ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ	5
Русан В.И., д.т.н., профессор энергетики и электротехники УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АПК В КОНТЕКСТЕ НОВОЙ РЕДАКЦИИ КОНЦЕПЦИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ	7
Герасимович Л.С., д.т.н., профессор, академик УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь «ВТОРОЕ ДЫХАНИЕ» ЭЛЕКТРОНАГРЕВА В АГРОЭНЕРГЕТИКЕ ..	11
Забелло Е.П., д.т.н., профессор УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь РИСК – ОРИЕНТИРОВАННОЕ МЫШЛЕНИЕ В ЭНЕРГЕТИКЕ НА ПРИМЕРЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ВЫБОРА ЛОКАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ	14
Исембергенов Н.Т. д.т.н., профессор, Сагындикова А.Ж. доктор PhD, ст. преподаватель Казахский национальный аграрный университет (Алматы) ИНТЕНСИВНЫЙ ЭНЕГОСБЕРЕГАЮЩИЙ МЕТОД СУШКИ ЗЕРНА	17
Гируцкий И.И., д.т.н., А.Г.Сеньков, к.т.н., УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ КАК ФАКТОР ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ	23

СЕКЦИЯ 1 ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ АПК

Анищенко В.А., д.т.н., Писарук Т.В., <i>Белорусский национальный технический университет, Минск</i> ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГРАММНО-ЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ ДОСТОВЕРНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ	26
Епифанов В.И., Сыч А.Д., Паулич Н.В., <i>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь</i> ВОПРОСЫ МОНИТОРИНГА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИСТОЧНИКОВ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ	29
Забелло Е.П., д.т.н., профессор, Базулина Т.Г., <i>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь</i> ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА НАДЕЖНОСТЬ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА	31
Забелло Е.П., д.т.н., профессор, Равинский Н.А., ст. преподаватель <i>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь</i> ВОЗМОЖНОСТИ УПЛОТНЕНИЯ СУТОЧНЫХ ГРАФИКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК НА ПРЕДПРИЯТИЯХ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА	34
Збродыга В.М., к.т.н., доцент, Зеленькевич А.И., ст. преподаватель, <i>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь</i> СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПАРКА СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ 10/0,4 кВ В ГЛУБОКСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ	37
Збродыга В.М., к.т.н., доцент, Зеленькевич А.И., ст. преподаватель <i>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь</i> О РАСПРЕДЕЛЕНИИ МДС И МАГНИТНЫХ ПОТОКОВ В ТРАНСФОРМАТОРЕ «ЗВЕЗДА-ДВОЙНОЙ ЗИГЗАГ С НУЛЕВЫМ ПРОВОДОМ»	40
Иванов В.П., д.т.н., профессор; Дронченко В.А. <i>Полоцкий государственный университет, Полоцк, Республика Беларусь</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ РЕМОНТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ В КАЧЕСТВЕ ДОБАВКИ К ТОПЛИВУ ПАРОВЫХ КОТЛОВ	44

Капустинский А.Ю., Радкевич В.Н., к.т.н., доцент <i>Белорусский национальный технический университет, г. Минск</i>	
СОБСТВЕННЫЕ ГЕНЕРИРУЮЩИЕ ИСТОЧНИКИ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ АПК	47
Ковалев А.В., <i>Таврический государственный агротехнологический университет, г. Мелитополь, Украина</i>	
ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБА ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ МОТОБЛОКА С ТЯГОВЫМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ	50
Константинова С.В., к.т.н., доцент, Ярошевич Т.М., магистр техн. наук <i>Белорусский национальный технический университет, г. Минск</i>	
К ВОПРОСУ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ МИНИЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ	53
Короткевич М.А., д.т.н., профессор <i>Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь</i>	
ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КАБЕЛЕЙ С ИЗОЛЯЦИЕЙ ИЗ СШИТОГО ПОЛИЭТИЛЕНА В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ ...	56
Крутов А.В., к.т.н., доцент, Петрова А.А., магистр техн. наук <i>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь</i>	
АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ	59
Постникова М.В., к.т.н., доцент <i>Таврический государственный агротехнологический университет, Мелитополь</i>	
ОСНОВНЫЕ ФУНКЦИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ ЗЕРНООЧИСТИТЕЛЬНО-СУШИЛЬНЫХ ПУНКТОВ	62
Прищепов М.А., д.т.н., доцент, Збродыга В.М., к.т.н., доцент, Зеленкевич А.И., ст. преподаватель <i>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь</i>	
КОМПЕНСАЦИЯ КРАТНЫХ ТРЕМ ГАРМОНИК В ТРАНСФОРМАТОРЕ «ЗВЕЗДА-ДВОЙНОЙ ЗИГЗАГ С НУЛЕВЫМ ПРОВОДОМ»	65
Протосовицкий И.В., к.т.н., доцент, Протосовицкий Д.И., ст. преподаватель <i>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь</i>	
ВЛИЯНИЕ СИММЕТРИРУЮЩЕЙ ОБМОТКИ ТРАНСФОРМАТОРА ТМГСУ НА ПАРАМЕТРЫ КОММУТАЦИОННЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ	69
Радкевич В.Н., к.т.н., наук, доцент, Сталович В.В. магистр техн. наук, <i>Белорусский национальный технический университет, г. Минск</i>	
ПРИМЕНЕНИЕ ОДНОЖИЛЬНЫХ КАБЕЛЕЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1 кВ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ АПК	72

Селюк Ю.Н., ст. преподаватель, Барайшук С.М. к.ф.-м.н., доцент <i>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь</i>	
СЕЛЕКТИВНОСТЬ ЗАЩИТЫ В СЕТЯХ ДО 1 кВ И СПОСОБЫ ЕЁ ОБЕСПЕЧЕНИЯ	75
Сыч А.Д., Кулаковский Д.А., Епифанов В.И., Климович М.Р. <i>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь</i>	
СОВРЕМЕННАЯ ЗАЩИТА ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРО- ЭНЕРГИИ ПРИ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЯХ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ	79
Фурсанов М.И., д.т.н., профессор, Старжинский В.П., д.ф.н., профессор, Фарино А.А., м.т.н., аспирант <i>УО «Белорусский национальный технический университет», Минск, РБ</i>	
АНТИГОЛОЛЁДНОЕ УЛЬТРАЗВУКОВОЕ УСТРОЙСТВО НА ПРОВОДАХ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ – ЗАЛОГ НАДЁЖНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ	81
Усов Г.Г., Кожарнович Г.И., Сакович Е.А. <i>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь</i>	
ЭКСПЛУАТАЦИЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ В СЕЛЬСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ	83
Янукович Г.И., к.т.н., профессор, Королевич Н.Г., к.э.н., Тюнина Е.А., ст. преподаватель <i>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь</i>	
СИММЕТРИРОВАНИЕ НАГРУЗКИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ	87
СЕКЦИЯ 2 НЕТРАДИЦИОННЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ В АПК	
Азизова Г.А., бакалавр, Исаев С.М., к.т.н., доц., Садыков Ж.Д., ст. пре- подаватель, <i>«Каршинский государственный университет», г. Карши, Узбекистан</i>	
АККУМУЛЯТОР ТЕПЛА ДЛЯ ГЕЛИОТЕПЛИЦ-СУШИЛОК ...	90
Азизова Г.А., бакалавр, Садыков Ж.Д., ст. преподаватель, Мурадов И., к.т.н. <i>«Каршинский государственный университет», г. Карши, Узбекистан</i>	
ПАССИВНАЯ СИСТЕМА СОЛНЕЧНОГО ОТОПЛЕНИЯ ДЛЯ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ ...	92
Арабей С.М., д.ф.-м.н., доцент, Станишевский И.В., к.ф.-м.н., доцент <i>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь</i> Павич Т.А., к.х.н. <i>Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси, Минск</i>	
СВЕТОТРАНСФОРМИРУЮЩИЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ ЕВРОПЕЕВОГО КОМПЛЕКСА В СИЛИКАТНОМ ЗОЛЬ-ГЕЛЕ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФОТОВОЛЬТАИЧЕСКИХ ЯЧЕЕК	95

Белый О.А., к.т.н., доцент, Бернацкий А.Е. ГНУ "Центр системного анализа и стратегических исследований НАН Беларуси", г. Минск	
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И АГРОТЕХНИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ И ИХ РОЛЬ В ИНВЕСТИЦИОННОЙ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТИ БИОГАЗОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ	98
Будзинский М. ¹ , д.ф.-м.н., директор института физики, Вальков В.И. ² , д.ф.-м.н., зав. отделом, Митюк В.И. ³ , к.ф.-м.н., ст. н. с., Суворец З. ¹ , к.ф.-м.н., доцент, Ткаченко Т.М. ⁴ к.ф.-м.н., доцент. ¹ Институт физики, университет М. Кюри-Склодовской, Люблин, Польша. ² Донецкий физико-технический ин-т НАН Украины им. А.А. Галкин, Донецк, Украина ³ ГО "НПЦ НАН Беларуси по материаловедению", Минск, Беларусь ⁴ УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь	
MnNiFeGe – МАТЕРИАЛ ДЛЯ МАГНИТОКАЛОРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ	101
Бутько А.А., Пашинский В.А., Ковшик В.В., Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А.Д. Сахарова, г. Минск, Республика Беларусь	
ЭМПИРИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОСТУПЛЕНИЯ СУТОЧНЫХ СУММ ПРЯМОЙ И РАССЕЯННОЙ РАДИАЦИИ	104
Вертель М. ¹ , к.ф.-м.н., старший специалист, С.М. Барайшук ² , к.ф.-м.н., доцент, М. Будзинский ¹ , д.ф.-м.н., директор. ¹ Институт физики, университета М. Кюри-Склодовской, Люблин, Польша; ² УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь	
ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ОСНОВЕ СОЕДИНЕНИЙ Cu-Zn-Sn ОСАЖДЕННЫХ НА ПОДЛОЖКИ Мо/СТЕКЛО и Мо-фольга ...	106
Дворник Г.М., к.п.н., доцент, Ковалев В.А., к.т.н., доцент УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь	
НАУЧНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СИСТЕМОГО РАЗВИТИЯ НЕТРАДИЦИОННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ	111
Иванова Е.В., Пашинский В.А., Бутько А.А., Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ г. Минск, Республика Беларусь	
ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТОПЛИВА НА ОСНОВЕ «ТОРФ-ТРОСТНИК» И «ТОРФ-ИВА»	113
Коротинский В.А., к.т.н., доцент, Гаркуша К.Э., к.т.н., доцент, Клинцова В.Ф. инженер, УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь	
ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК БИОГАЗОВЫХ КОМПЛЕКСОВ	116

Кучур С.С., к.т.н., доцент <i>Международный государственный экологический институт им. А.Д. Сахарова Белорусского государственного университета, г. Минск, Республика Беларусь</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ НАВОЗА КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА В КАЧЕСТВЕ СУБСТРАТА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА БИОГАЗА . . .	119
Мирончук В.И., аспирант, Андрианов В.М., д.ф.-м.н., Вельченко А.А., к.т.н., доцент <i>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь</i>	
МЕТОДИКА РАСЧЕТ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ С УЧЕТОМ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ МЕСТНОСТИ	122
Позняк А.А., магистрант, Вельченко А.А., к.т.н., доцент <i>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь</i>	
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕДВИЖНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК НА ОСНОВЕ СОЛНЕЧНЫХ ФОТОЭЛЕМЕНТОВ	124
Рахимова К.К., преподаватель, Садыков Ж.Д., ст. преподаватель, Даминова Ю.С., преподаватель, Ишмурадова Г.И., к.п.н., доц., «Каршинский государственный университет», г. Карши, Узбекистан	
ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПАССИВНЫХ СИСТЕМ СОЛНЕЧНОГО ОТОПЛЕНИЯ С ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩЕЙ СТЕНКОЙ	127
Русан В.И., д.т.н., профессор, Мордань И.Л., PhD, Булко М.И., ст. преподаватель <i>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь</i>	
АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ: СОСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ.	131
Сакович Е.А., ассистент, Вельченко А.А., к.т.н., доцент <i>Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь</i>	
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ ДЛЯ ТЕПЛИЧНЫХ ХОЗЯЙСТВ	135
Селицкая О.Ю., ст. преподаватель <i>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь</i>	
ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК НА ОСНОВЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В АПК РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ	138
Синица С.И., старший преподаватель <i>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь</i>	
РАЗДЕЛЬНЫЙ СБОР И ПЕРЕРАБОТКА МУСОРА – ВТОРИЧНЫЕ ТЕПЛОВЫЕ РЕСУРСЫ	144

Сычик В.А. ¹ , д.т.н., профессор, Русан В.И. ² , д.т.н., профессор, Уласюк Н.Н. ¹ , PhD. ¹ Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь ² УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь	
СИНТЕЗ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ИЗЛУЧЕНИЙ	147
Сычик В.А. ¹ , д.т.н., профессор, Русан В.И. ² , д.т.н., профессор, Уласюк Н.Н. ¹ , PhD. ¹ Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь ² УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь	
УСТРОЙСТВО КОНТРОЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ	151
Thomas M.F. ¹ , Болодон В.Н. ² , к.д.ф.-м.н., доцент, В.П. Дымонт, к.ф.-м.н., доцент, Б.В. Корзун ² , к.ф.-м.н., доцент, Т.М. Ткаченко ² , к.ф.-м.н., доцент. ¹ Department of Physics, Oliver Lodge Laboratory, University of Liverpool, ENGLAND ² УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь	
ИССЛЕДОВАНИЕ CuInS₂, ЛЕГИРОВАННОГО ОЛОВОМ.	155
Халимов Г.Г., к.ф.-м.н., доцент, Садыков Ж.Д., ст. преподаватель, Захирова Ш.М., преподаватель. «Каршинский государственный университет», г. Карши, Узбекистан	
ТЕПЛООБМЕН И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЯХ С ПОДПОЧВЕННЫМ АККУМУЛЯТОРОМ ТЕПЛА	159
Шевченко А.А. ¹ , к.т.н., доцент, Болодон В.Н. ¹ , к.б.н., доцент, Павловский В.Н. ² , к.ф.-м.н., Ломоносов В.А. ³ , к.х.н., Кашаед Е.А. ⁴ ¹ УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь; ² ГНУ Институт физики им. Б.И. Степанова; ³ Белорусский государственный университет; ⁴ Институт порошковой металлургии, г. Минск	
РЕЦИКЛИНГ РАСПЫЛЯЕМЫХ МИШЕНЕЙ SIGS(CUINGASE2) ДЛЯ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ФОТОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ: СТРУКТУРА И ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА	164
СЕКЦИЯ 3 ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ В АПК	
Базулина Т.Г., Силуцкий А.С. УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь	
К ВОПРОСУ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ	167
Бондарчук О.В., Бондарь Н.Ф., к.х.н., Ковширко Е.Н. УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь	
ВЛИЯНИЕ НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА СТЕПЕНЬ ЗАМОЧКИ ПИВОВАРЕННОГО ЯЧМЕНЯ	170

Бусел Д.В., аспирант, Барайшук С.М., к.ф.-м.н., доцент, Корко В.С., к.т.н., доцент. <i>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь.</i>	
ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДУХА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ХРАНЕНИЯ ОВОЩНОЙ ПРОДУКЦИИ	173
Герасимович Л.С., д.т.н., профессор, Коховец Ж.А., ассистент <i>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь</i>	
ЭКСЕРГЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ЭНЕРГО-ПОТРЕБИТЕЛЕЙ КОМПРЕССОРНОГО ЦЕХА МЯСОКОМБИНАТА	176
Герасимович Л.С., д.т.н., профессор, Михайлов В.В., Павловский В.А., Заец А.Н., Киселев Ю.С. <i>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь, ОАО, «Связьинвест» г. Минск</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СВЕТОДИОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ НА РОСТ ТОМАТОВ В ТЕПЛИЦАХ	181
Городецкая Е.А., Дубодел И.Б., Корко В.С., Непарко Т.А., Городецкий Ю.К., Качалко А.С., Павлович И.А., Савина Л.М., Федарцова Н.Л. <i>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь</i>	
ВОССТАНОВЛЕНИЕ БЕЛОРУССКИХ ЛЕСОВ СЕМЕНАМИ ХВОЙНИКОВ ПОСЛЕ ИХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕПАРАЦИИ ...	184
Гулевский В.Б., к.т.н., доцент, Постол Ю.А., к.т.н., доцент, Дудина М.П., студентка-магистрант <i>Таврический государственный агротехнологический университет, Украина</i>	
ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ ЭЛЕКТРОБИОСТИМУЛЯЦИИ РАСТЕНИЙ	187
Дайнеко В.А., зав. кафедрой ЭСХП, Шинкевич В.Н., магистрант <i>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь</i>	
ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЙ РЕЖИМ НАСОСНЫХ УСТАНОВОК ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ	190
Дайнеко В.А., зав. кафедрой ЭСХП, к.т.н., доцент; Прищепова Е.М., ст. преподаватель, Крупеня В.И., ассистент; Шинкевич В.Н., магистрант <i>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь</i>	
УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОГРУЖНОГО НАСОСА НА ОСНОВЕ МИКРОПРОЦЕССОРНОГО СЧЕТЧИКА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ	192

Дубодел И.Б., к.т.н., доцент, Кардашов П.В., к.т.н., доцент, Городецкая Е.А., к.т.н., доцент УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь	
ПЕРСПЕКТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ КАРТОФЕЛЬНОГО СОКА	195
Забелло Е.П., д.т.н., профессор, Дайнеко В.А., зав. кафедрой ЭСХП, к.т.н., доцент, Прищепова Е.М., ст. преподаватель, Крупеня В.И., ассистент УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь	
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ И ПЕРЕРАБОТКИ ЗЕРНА	197
Занкевич В.А., к.ф.-м.н., доцент, Булко М.И., ст. преподаватель, Ожелевский А.В., ст. преподаватель УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь	
К ВОПРОСУ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ ...	200
Заяц Е.М. ¹ , Чорный А.Д. ² , Янко М.В. ^{1, 1} УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»; ² ГНУ «Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси»	
МОДЕЛИРОВАНИЕ КОРОННОГО РАЗРЯДА В ЭЛЕКТРОКИНЕТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ	203
Кашкарёв А. А. к.т.н., доцент; Диордиев А.А., аспирант Таврический государственный агротехнологический университет, г. Мелитополь, Украина	
УПРАВЛЕНИЕ МИКРОКЛИМАТОМ В ТЕПЛИЦЕ С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЙ	211
Кардашов П.В., к.т.н., доцент, Дубодел И.Б., к.т.н., доцент, Корко В.С., к.т.н., доцент, Рубан С.С., магистрант УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь	
ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОАКТИВИРОВАННЫХ РАСТВОРОВ НА СЕМЕНА ТОМАТОВ	214
Квитка С.А., к.т.н., доцент, Вовк А.Ю., к.т.н., доцент Таврический государственный агротехнологический университет, г. Мелитополь	
УСТРОЙСТВО КОНТРОЛЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ И ЗАЩИТЫ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ОТ АВАРИЙНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ	216
Ковалев А.В. Таврический государственный агротехнологический университет, г. Мелитополь, Украина	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ И ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ МОТОБЛОКА	219

Ковалев В.А., к.т.н., доцент, Дворник Г.М., к.п.н., доцент, Скочек И.И., ст. преподаватель, Шатохин И.Н. <i>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь</i> Кулаков А.Т., к.т.н., доцент <i>УО «Белорусский национальный технический университет» г. Минск, Республика Беларусь</i>	
ОБОСНОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К ХАРАКТЕРИСТИКАМ ПСИХРОМЕТРИЧЕСКОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА	222
Козловская В.Б., к.т.н., доцент, Калечиц В.Н. магистр техн. наук <i>Белорусский национальный технический университет, Минск</i>	
ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ НАРУЖНЫМ ОСВЕЩЕНИЕМ ПОСЕЛКОВ И СЕЛЬСКИХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ	225
Коротинский В.А., к.т.н., доцент <i>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь</i>	
ОСОБЕННОСТИ РЕЖИМОВ СУШКИ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ В КАМЕРНЫХ СУШИЛКАХ	227
Коротинский В.А., к.т.н., доцент, Гаркуша К.Э., к.т.н., доцент <i>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь</i>	
НЕТРАДИЦИОННЫЕ СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ И ПОДГОТОВКИ КОРМОВ К СКАРМЛИВАНИЮ	230
Кривовязенко Д.И., ст. преподаватель <i>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь</i>	
ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА КОАГУЛЯЦИИ БЕЛКОВ ИЗ МОЛОЧНОЙ СЫВОРОТКИ	233
Кривовязенко Д.И., ст. преподаватель <i>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь</i>	
К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ФАКТОРОВ ВЛИЯНИЯ НА КОАГУЛЯЦИЮ БЕЛКОВ МОЛОЧНОЙ СЫВОРОТКИ	235
Крутов А.В., к.т.н., доцент, Бойко М.А. <i>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь</i>	
ВОЗДЕЙСТВИЕ НЕОДНОРОДНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ЗАРЯЖЕННЫЕ ЧАСТИЦЫ ПРИ ОЧИСТКЕ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ СТОЧНЫХ ВОД	238
Крутов А.В., к.т.н., доцент; Бойко М.А., ст. преподаватель <i>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь</i>	
ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОФЛОТООКАГУЛЯЦИОННОЙ ОЧИСТКИ ПОСТА МОЙКИ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ	241

Крутов А.В., к.т.н., доцент; Мацкело В.В., магистр техн. наук <i>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь</i>	
ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ ЖИДКИХ СРЕД В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ ИСКРОВОГО РАЗРЯДА	244
Кулаковский Д.А., Сыч А.Д., Жигера Е.А. <i>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь</i>	
ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИИ СТАТОРНОЙ ОБМОТКИ НА ПАРАМЕТРЫ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ	247
Мансуров А.А., ст. преподаватель, Рахимова К.К., преподаватель, Поёнова Л.О., преподаватель, Холмирзаев Н.С., к.т.н., доц., <i>«Каршинский государственный университет», г. Карши, Узбекистан</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ВАРИАНТОВ ХРАНИЛИЩ ДЛЯ ЖАРКОГО КЛИМАТА УЗБЕКИСТАНА	249
Мацкело В.В., магистр техн. наук <i>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь</i>	
ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ ДРЕНАЖА ТЕПЛИЧНЫХ КОМБИНАТОВ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКИМ УДАРОМ	252
Михайлова Я.В., магистр техн. наук, Радкевич В.Н., к.т.н., доцент <i>Белорусский национальный технический университет, г. Минск</i>	
ПОКАЗАТЕЛИ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ СВЕТОВОГО ПРИБОРА С ИНДУКЦИОННОЙ ЛАМПОЙ	254
Нестерчук Д.Н., к.т.н., доцент <i>Таврический государственный агротехнологический университет, Мелитополь</i>	
МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ БЛОК УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ	257
Нефедов С.С., ассистент; Крутов А.В., к.т.н., доцент <i>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь</i>	
ЭЛЕКТРОЛИЗНАЯ ОБРАБОТКА ЖИДКОГО ПТИЧЬЕГО ПОМЕТА	260
Попова И.А., к.т.н., доцент, Курашкин С.Ф., к.т.н., доцент <i>Таврический государственный агротехнологический университет, г. Мелитополь, Украина</i>	
ДАТЧИК КОНТРОЛЯ НЕСИММЕТРИИ НАПРЯЖЕНИЯ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ	262
Прищепов М.А., д.т.н., доцент, Иванов Д.М., аспирант, Прищепова Е.М., ст. преподаватель <i>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь</i>	
СТАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ ЧАСТОТНОМ РЕГУЛИРОВАНИИ СКОРОСТИ	265

Равинский Н.А., ст. преподаватель, Качалко А.С., ассистент УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь	
АНАЛИЗ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ЛЬНЯНОЙ ТРЕСТЫ НА ЛИНИЯХ ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ЛЬНА	271
Речина О.Н., инженер Таврический государственный агротехнологический университет, Мелитополь	
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОБЛУЧЕНИЯ РАСТЕНИЙ В ТЕПЛИЦЕ	274
Рутковский И.Г., Рутковская Н.В., УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь	
РАСЧЕТ КОНСТРУКЦИИ МНОГОЗОННОГО ПРОТОЧНОГО ЭЛЕКТРОДНОГО НАГРЕВАТЕЛЯ	277
Самарин Г.Н., д.т.н., доцент, Павлов А.Н., к.т.н., доцент, Шибанов А.Ю., аспирант, Галузо Е.В., магистрант ФГБОУ ВО "Великолукская государственная сельскохозяйственная академия", г. Великие Луки, Российская Федерация	
ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОСВЕЩЕНИЯ НА ФЕРМЕ ...	281
Стребков А.А. Таврический государственный агротехнологический университет, г. Мелитополь, Украина	
ИССЛЕДОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПОТЕРЬ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ В ФУНКЦИИ УРОВНЯ ПИТАЮЩЕГО НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ ПЕРЕМЕННОЙ ЗАГРУЗКЕ РАБОЧЕЙ МАШИНЫ	283
Стручаев Н.И., к.т.н., доцент, Постол Ю.А., к.т.н., доцент Таврический государственный агротехнологический университет, г. Мелитополь	
ТЕРМОСИФОННАЯ СУШИЛКА	286
Цубанов И.А., Цубанова И.А. УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь	
РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТА ВЛАГОВЫПАДЕНИЯ В КОЖУХОТРУБЧАТЫХ ТЕПЛОУТИЛИЗАТОРАХ	289
Цубанов И.А., Цубанова И.А. УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь	
ПОВЕРОЧНЫЙ ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ КОЖУХОТРУБЧАТЫХ ТЕПЛОУТИЛИЗАТОРОВ	292
Челомбитько М.А., к.с.-х.н., доцент, Ковтик П.В., студент Белорусский государственный аграрный технический университет	
ВЫСОКОЕ ДАВЛЕНИЕ (НРР) – ИННОВАЦИОННЫЙ МЕТОД НЕТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ	295
Чигарев О.Ю., к.т.н. Институт технологии и природопользования, г. Фаленты, Республика Польша, Прищепова Е.М., ст. преподаватель УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь	
К ВОПРОСУ О ВЛИЯНИИ СКОРОСТИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЦЕССА ПЛЮЩЕНИЯ	298

Шатковский А.И, к.т.н., Петрович В.Л., ст. преподаватель УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь	
ВЫБОР МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ СРЕДСТВ, ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ	301
Янко М.В. УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь	
ОЦЕНКА АНТИМИКРОБНОЙ АКТИВНОСТИ ГИПОХЛОРИТА НАТРИЯ	304

СЕКЦИЯ 4 АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В АПК

Азизова Г.А., бакалавр, Захирова Ш.М., преподаватель, Даминова Ю.С., преподаватель, Рахматов М.И., к.п.н., доц., «Каршинский государственный университет», г. Карши, Узбекистан	
АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНОГО РЕЖИМА ГЕЛИОУСТАНОВКИ	306
Баранов А.М., Матвеевко И.П., к.т.н., доцент УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь	
МОДЕЛИРОВАНИЕ СХЕМ УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ AVR	309
Герасимович Л.С., Косьюк А.Н. Институт энергетики НАН Беларуси	
СТРУКТУРА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ОБЛУЧЕНИЕМ ПОРОСЯТ-ОТЪЕМЫШЕЙ ПО ПОВЕДЕНИЮ ЖИВОТНЫХ	311
Горустович Т.Г., Чернявская А.С. УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь	
АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	313
Демидов О.К., Барашко О.Г., к.т.н., доцент Белорусский государственный технологический университет г. Минск	
АНАЛИЗ ПРОЦЕССА УДАЛЕНИЯ ОТРАБОТАННОГО ШАХТНОГО ВОЗДУХА В ШАХТЕ КАК ОБЪЕКТ УПРАВЛЕНИЯ	316
Жур А.А., ст. преподаватель УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь	
ПРАКТИКО ОРИЕНТИРОВАННАЯ ПОДГОТОВКА СТУДЕНТОВ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «МОНТАЖ СРЕДСТВ АВТОМАТИКИ» ...	318

Королевич М.В., д.ф.-м.н., доцент, Андрианов В.М., д.ф.-м.н.,

Чернявский В.В., к.ф.-м.н., доцент, Болодон В.Н., к.биол.н., доцент, Ветрова В.Т., к.т.н., доцент, Быкова С.Л. <i>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»</i> , Минск, Республика Беларусь	
АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЬЮТЕРНЫЙ АНАЛИЗ СПЕКТРО-СТРУКТУРНЫХ КОРРЕЛЯЦИЙ СЛОЖНЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ	321
Кротюк Ю.М., к.т.н., доцент, Гривачевский А.Г., к.т.н., доцент <i>Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси</i> , Минск	
АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ АГРЕГАТОВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ	323
Кулаков Г.Т., д.т.н., профессор, Кулаков А.Т., к.т.н., доцент <i>УО «Белорусский национальный технический университет»</i> Ковалев В.А., к.т.н., доцент <i>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»</i> , Минск, Республика Беларусь	
ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ПРЕДИКТИВНОГО ПРОПОРЦИОНАЛЬНО-ИНТЕГРАЛЬНОГО РЕГУЛЯТОРА	326
Лисовский В.В., к.т.н., Булко М.И. <i>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»</i> , г. Минск, Республика Беларусь	
АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ВЛАЖНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ СВЧ-АКУСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ	330
Матвейчук Н.М., к.ф.-м.н., Сеньков А.Г., к.т.н., доцент <i>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»</i> , г. Минск, Республика Беларусь	
АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРОЙ НАГРЕВА МОЛОКА В СЫРНОЙ ВАННЕ	335
Мицевич А.В., Матвейчук Н.М., к.ф.-м.н., <i>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»</i> , Минск, Республика Беларусь	
АВТОМАТИЗАЦИЯ ВЫДАЧИ КОРМА КРС С УЧЕТОМ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЖИВОТНОГО	337
Несенчук А.А., к.т.н., доцент, <i>Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси</i> , г. Минск	
ДИНАМИКА КОРНЕВЫХ ПОРТРЕТОВ СИСТЕМ ТРЕТЬЕГО ПОРЯДКА С ПЕРЕМЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ	341
Опейко О.Ф., к.т.н., доцент <i>Белорусский национальный технический университет</i> , Минск	
ДИСКРЕТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ В МНОГОКОНТУРНОЙ СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА	344
Ошейчик Н.И., Матвейчук Н.М. к.ф.-м.н. <i>УО «Белорусский государственный</i>	

<i>аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь</i> АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ УРОВНЯ ВОДЫ ДВУМЯ НАСОСАМИ С ПЕРЕКЛЮЧАЕМЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ЧАСТОТЫ	346
<i>Павловский В.А. УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь</i> ПРОЕКТИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ОБОРУДОВАНИЯ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕГО ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ	352
<i>Подобед М.Ю., ассистент, Карпович Д.С., доцент, к.т.н., Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет», Минск</i> БЛОК НЕЧЕТКОЙ СЕЛЕКЦИИ СИГНАЛОВ ОБРАТНЫХ СВЯЗЕЙ	355
<i>Подобед М.Ю., ассистент, Карпович Д.С., доцент, к.т.н. Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет», Минск</i> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА	357
<i>Ржеуцкий В.Ю., Матвеев И.П., к.т.н., доцент УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь</i> ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРАКТИЧЕСКИХ ЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММЫ PROTEUS	360
<i>Сеньков А.Г., к.т.н., доцент, Жур А.А., Лобач А.В., студент УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь</i> МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПОТОЧНОЙ ЛИНИЕЙ ЭКСТРУДИРОВАНИЯ ЗЕРНА	362
<i>Сеньков А.Г., к.т.н., доцент, Мякинник Е.Е., магистрант, УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь</i> АДАПТИВНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ КОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА КОРМОВОЙ ДОБАВКИ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЛИНИИ ЭКСТРУДИРОВАНИЯ	365
<i>Сырокваш Н.А., ст. преподаватель, Клинцева В.Ф., ст. преподаватель УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск</i> РОЛЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИИ	368

Турченик Е.А., Якубовская Е.С. УО «Белорусский государственный

<i>аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь</i>	
АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ МИКРОКЛИМАТОМ ИНКУБАЦИОННОГО ШКАФА КАК СПОСОБ ТОЧНОГО ПОДДЕРЖАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ	371
<i>Шибун А.В., Якубовская Е.С. УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь</i>	
АЛГОРИТМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫМ РЕЖИМОМ В АНГАРНОЙ ТЕПЛИЦЕ	373
<i>Якубовская Е.С. УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь</i>	
ПРОВЕРКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДИКИ ФОРМИРОВАНИЯ ИННОВАЦИОННО-ПРОЕКТНОЙ КОМПЕТЕНТНОСТИ БУДУЩЕГО ИНЖЕНЕРА ПО АВТОМАТИЗАЦИИ	375
<i>Якубовская Е.С., Бородина М.И., УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь</i>	
ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ МАСЛОИЗГОТОВИТЕЛЕМ С ПОМОЩЬЮ КОНТРОЛЛЕРА	378
<i>Якубовская Е.С., Булыга П.И., УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь</i>	
АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ВЫТЯЖНОЙ ВЕНТИЛЯЦИЕЙ В ПТИЧНИКЕ КАК СПОСОБ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ	380
<i>Якубовская Е.С., Журович А.С., УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь</i>	
АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫМИ РЕЖИМАМИ ПРИ СУШКЕ ЗЕРНОВЫХ	382

Научное издание

**ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ – ВАЖНЕЙШЕЕ УСЛОВИЕ
ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ АПК**

**Сборник научных статей
Международной научно-технической конференции**

(Минск, 23–24 ноября 2017 г.)

Ответственный за выпуск *И. В. Протосовицкий*
Технический редактор *А. И. Зеленкевич*
Компьютерная верстка *А. И. Зеленкевича*
Дизайн и оформление обложки *Д. О. Сенькевич*

Подписано в печать 20.11.2017 г. Формат 60×84¹/₁₆.
Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 23,0. Уч.-изд. л. 18,18. Тираж 100 экз. Заказ 872.

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.